

Justus Liebig Universität Gießen

Fachbereich 09 „Agrarwissenschaften, Ökotropologie und Umweltmanagement“

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II
- Arbeitsgruppe Grünland und Futterbau -

-Bachelorarbeit-

„Abhängigkeit zwischen Biogaserträgen und
Futterqualitätsmerkmalen bei Hochzuckergräsern und
Leguminosen aus Rein- und Mischbeständen“

Gestellt von: PD Dr. Harald Laser

Verfasst von: Thorsten Schauß

Gießen im August 2008

Inhaltsverzeichnis:

	Seite
1. Einleitung	1
2. Literaturrecherche	2
2.1 Biogasetablierung	2
2.2 Energiepflanzen – Mais und Grünland	2
2.2.1 Mais vs. Grünland	3
2.2.2 Hochzuckergräser	3
2.3 Inhaltsstoffe und Methangehalt	4
2.4 Mikroorganismen	4
2.5 Konservierung – Silierung und Heuproduktion	4
2.5.1 Silage vs. Heu	5
2.6 Wichtige Inhalts- und Hemmstoffe	5
2.7 Abbaugrad	6
2.8 Substratbereitstellungskosten	6
2.9 Substratzerkleinerung	6
2.10 Energie im Gärrückstand	6
2.11 Methodische Analytik	7
2.12 Arbeitshypothesen	8
3. Material und Methoden	9
3.1 Substrate	9
3.2 Biogasschlamm	10
3.3 Biogas-Versuchsdurchläufe	11
3.4 Biogas-Auswertung	13
3.5 Weitere Laboranalysen	13
4. Ergebnisse	14
4.1 Aufsummierte Gasmittelwerte pro Stunde	14
4.2 Aufsummierte Gasmittelwerte	16
4.3 Gräser vs. Leguminosen	18
4.4 HZG Reinsaat vs. HZG Mischungen	19
4.5 Lolium perenne Reinsaat vs. Lolium perenne Mischungen	20
4.6 HZG vs. Lolium perenne	22
4.7 Weitere Ergebnisse	22
5. Diskussion	23
5.1 Gasertrag und wasserlösliche Kohlenhydrate	23
5.2 Gasertrag und Stickstoff-Gehalt der Aufwüchse	24
5.3 Wasserlösliche Kohlenhydrate und Stickstoff-Gehalt der Aufwüchse	26
5.4 Verdaulichkeit und Gasertrag	28
5.5 Besonderheit des <i>Lotus corniculatus</i>	29

Verzeichnis

6. Zusammenfassung	31
7. Literaturverzeichnis	33
8. Anhang	36
9. Eidesstattliche Erklärung	56

Tabellenverzeichnis:

- 3.1.1: Sortenwahl
- 3.3.1: Ablesetermine
- 8.1: Gesamtdaten zweiter Versuchsdurchlauf der Messtage (a-e)
- 8.2: Vorbereitung Versuchsdurchlauf
- 8.3: Summe bereinigter Mittelwerte pro Stunde der 9 Messtage
- 8.4: Summe bereinigter Mittelwerte der 9 Messtage
- 8.5: Korrelationen
- 8.6: Oneway Anova
- 8.7: Ausschnitt Varianzanalyse

Bildverzeichnis:

- 3.2.1: Biogasanlage Villmar
- 3.3.1: eingewogene Glaskolben
- 3.3.2: Dispensette
- 3.3.3: Kolben vor der Gasentwicklung
- 3.3.4: Kolben nach der Gasentwicklung

Abbildungsverzeichnis:

- 4.1.1: Kumulierte Gasmittelwerte pro Stunde, gesamter Versuch
- 4.2.1: Kumulierte Gasmittelwerte, gesamter Versuch
- 4.3.1: Kumulierte Gasbildung gesamt (Gräser und Leg.), Mittelwerte
- 4.3.2: Gasbildung pro Stunde (Gräser und Leg.), Mittelwerte
- 4.4.1: Kumulierte Gasbildung gesamt (HZG-Reinsaat und HZG-Mischung), Mittelwerte
- 4.4.2: Gasbildung pro Stunde (HZG-Reinsaat und HZG-Mischung), Mittelwerte
- 4.5.1: Kumulierte Gasbildung gesamt (L.p.-Reinsaat und L.p.- Mischung), Mittelwerte
- 4.5.2: Gasbildung pro Stunde (L.p.-Reinsaat und L.p.- Mischung), Mittelwerte
- 4.6.1: Kumulierte Gasbildung gesamt (HZG und L.p.), Mittelwerte
- 4.6.2: Gasbildung pro Stunde (HZG und L.p.), Mittelwerte
- 5.1.1: Beziehung zwischen Gesamtgas und wasserlöslichen Kohlenhydraten
- 5.1.2: Wasserlösliche Kohlenhydrat-Gehalte der Versuchsvarianten
- 5.2.1: N-Gehalte in der TS der untersuchten Varianten
- 5.2.2: Beziehung zwischen dem N-Gehalt der Aufwüchse und dem Gesamtgasertrag
- 5.3.1: N und wK Gehalte der Leguminosen in Reinsaat und Mischung
- 5.3.2: Mischungseffekte auf den Ertrag
- 5.4.1: Beziehung zwischen der enzymlöslichen organischen Substanz (ELOS) und dem Gasertrag
- 5.5.1: Verdaulichkeit der untersuchten Substrate durch das ELOS-Verfahren
- 8.1: Parzellenanordnung des Leguminosen/Gräserversuch

1. Einleitung

Die Nutzung regenerativer Energien gewann im letzten Jahrzehnt zunehmend an Bedeutung aufgrund weltweit wachsender Energienachfragen und schwindender fossiler Energieträger. Neben den drei großen Sektoren der Wasser-, Wind- und Sonnenenergie wurde auch der Bereich „Energie aus Biomasse“ weiter etabliert. Besonders die Gasgewinnung aus Biomasse gilt als zukunftssträchtige Technologie. Insbesondere der Silomais stellte sich als hervorragendes Cosubstrat zur Vergärung heraus, so dass dessen Anbauflächen stetig zunahmen. Allerdings birgt der Silomaisanbau eine Reihe agronomischer und ökologischer Nachteile in sich.

Parallel dazu findet ein Schrumpfen des deutschen Milchkuhbestandes statt, so dass immer weniger Grünlandflächen als Weidefläche genutzt werden müssen.

Aus ökologischer Sicht wäre es interessant, auf diesen Flächen eine konkurrenzfähige Alternative zum Silomais mit Grünlandaufwüchsen als Biogassubstrat einzurichten. Neue Gräserzüchtungen mit einem erhöhten Zuckergehalt könnten sich als geeignet für eine energetische Verwertung herausstellen, deren Anbau die Probleme der Maiskultivierung nicht aufweist.

Inwieweit einige futterbauliche Kriterien mit denen für die Biogasproduktion korrelieren und ob es eine verlässliche *in-vitro*-Schätzmethode für die Gasentwicklung gibt, soll in dieser Bachelorarbeit untersucht werden.

2. Literaturrecherche

2.1 Biogasetablierung

Zahlreiche Autoren und Sachverständige vertreten einheitlich die Meinung, dass der weltweite Energiebedarf langfristig nicht mehr rein aus fossilen Energieträgern gedeckt werden kann. Die Energieversorgung wird in Zukunft, durch den Hintergrund der wachsenden Weltbevölkerung, eine der größten Herausforderungen sein, denen sich die Menschheit stellen muss. Zahlreiche alternative Energiequellen wurden in der Vergangenheit aufgezeigt, weiterentwickelt und teilweise in die Energieversorgungspläne einiger Kommunen und Städte aufgenommen. Die Biomasseverstromung, vor allem die Biogastechnologie, stellt einen großen Teil dieser Alternativen dar. Das am 1. April 2000 in Kraft getretene „Erneuerbare Energien Gesetz,“ kurz EEG (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2008), hält diesen Boom bis heute aufrecht, denn es fördert neben anderen erneuerbaren Energien auch die Biogasverstromung in Blockheizkraftwerken über feste Einspeisevergütungen (OHLY 2006).

2.2 Energiepflanzen – Mais und Grünland

Heutzutage ist die Möglichkeit der Mitvergärung organischer Abfälle in den Hintergrund getreten, vielmehr werden eigens dafür angebaute Energiepflanzen verwertet.

Besonders Mais erwies sich im letzten Jahrzehnt als vorzügliches Cosubstrat. Allerdings wird der vermehrte Anbau von Mais aus mehreren Gründen auch kritisch betrachtet. Zu den allgemeinen pflanzenbaulichen Nachteilen des Mais gehören unter anderem die Erosionsanfälligkeit der Böden und die damit verbundene Nährstoffauswaschung, die humuszehrende Wirkung, der hohe Düngbedarf und die Empfindlichkeit gegenüber Natrium. Auch für Schädlinge und Unkräuter ist Mais sehr anfällig (ZSCHEISCHLER 1984). Eine zunehmende Verwendung im Energiesektor tritt in Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion, denn Mais ist eine der weltweit wichtigsten Nahrungspflanzen. In den schwach industrialisierten Staaten Süd- und Mittelamerikas entwickelt sich die energetische Maisverwertung zu einer starken Nahrungsmittelkonkurrenz.

Weltweit werden immer mehr Stimmen laut, die eine Abkehr von der Nahrungsmittelverstromung fordern.

PROCHNOW et al. (2007) vertreten die Auffassung, dass die energetischen Potenziale des Grünlandes oft überhaupt nicht oder nur sehr grob betrachtet werden. Sie verweisen auf stetig sinkende Milchkuhzahlen in der EU und die Flächen, die künftig nicht mehr für die Milchviehernährung benötigt werden. Es werden Größenordnungen von 25% des Grünlandes genannt, die dann in keinem Nutzungszusammenhang stehen. Aus Studien für Brandenburg und Sachsen werde deutlich, dass nur 4% des gesamten Biogaspotenzials aus dem Grünland gedeckt werden. Die Autoren sehen dort noch Verbesserungsmöglichkeiten.

2.2.1 Mais vs. Grünland

Grünland bietet im Vergleich zu Mais eine Reihe weiterer Aspekte, die eine vermehrte Grünlandnutzung sinnvoll erscheinen lassen. RÖSCH et al. (2006) nennen den Erhalt des Boden- und Wasserschutzes, der Artenvielfalt und der Kulturlandschaft. Somit sehen sie die Chance, die Monokulturen wie Mais und Getreide durch artenreichere Grünlandaufwüchse zu ersetzen.

Allerdings genießt der Mais zu Recht aktuell eine bedeutende Rolle. Zahlreiche Untersuchungen ermitteln die höchsten Biogasausbeuten. Auch im Bereich der Mechanisierbarkeit und der Energiedichte bevorzugen Autoren den Mais.

Neuere Untersuchungen zeigen allerdings, dass Mais in Monovergärung nicht wesentlich besser abschneidet als Gras (RÖSCH et al. 2006).

2.2.2 Hochzuckergräser

JÄNICKE 2005 bestätigt in seinen Versuchen auf Niedermoorböden in Mecklenburg Vorpommern, dass die HZG-Sorten im Mittel über höhere Gehalte an wasserlöslichen Kohlenhydraten (wLK) verfügen als die Vergleichssorten. Laut BEIMLER et al. (2005) gehen die Zusammensetzungen der Inhaltsstoffe weder in die Sortenzulassung noch in die Empfehlung mit ein. Ob die HZG in der Milchkuhernährung Verbesserungen bringen werden, ist strittig. Nach TAWHEEL et al. (2005) verändern sich weder die pH-Werte im Rumen, noch die Zerlegungsprozesse im Pansen, noch die Anteile an Acetat, Propionat und Buterat.

Jedoch werden in die HZG als Biogassubstrat Erwartungen gesetzt.

2.3 Inhaltsstoffe und Methangehalt

AMON et al. (2003) stellen fest, dass die Biogasausbeute im Wesentlichen von den Inhaltsstoffen und ihren Zusammensetzungen abhängt. Während besonders der Protein-, der Fett- und Kohlenhydratanteil entscheidend für die Biogasmenge sind, behindern die schwerabbaubaren Lignin-, Cellulose- und Faserstoffe die Methanbildung. Sie arbeiten heraus, dass diese Zusammensetzungen in erster Linie durch den Erntezeitpunkt und weniger durch die Pflanzenart bestimmt werden. PROCHNOW et al. (2007) sprechen von einer linearen Abnahme der Biogasausbeute im Jahresverlauf. Es muss allerdings zwischen Biogasproduktion im Allgemeinen und der Methangasproduktion unterschieden werden. Hohe Biogaserträge müssen nicht unbedingt einen hohen Methananteil und somit eine hohe Methanproduktion bedeuten. Die höchsten Methanausbeuten bei Grünlandaufwüchsen stellen PROCHNOW et al. (2007) im Zeitraum des Schossens fest, einen reduzierten Wert im Ährenschieben und zur Ernte. Später im überständigen Erntegut sind die Werte nochmals reduziert.

2.4 Mikroorganismen

Die Mikroorganismenzusammensetzung in einem Biogasfermenter ist äußerst komplex und aufeinander abgestimmt. Eine Substratumstellung ist gleichzeitig mit einer Umstellung der Mikroorganismenbiozönose und damit temporären Gasmindererträgen verbunden.

2.5 Konservierung – Silierung und Heuproduktion

Um eine ausreichende Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage zu erreichen, ist eine möglichst kontinuierliche Beschickung anzustreben. Möglichkeiten dafür stellen entweder Silierung oder Trocknung dar.

Unter anderem tragen RÖSCH et al. (2006) zusammen, dass die Silierfähigkeit in erster Linie vom Rohfasergehalt des Substrates abhängt und somit vom Erntezeitpunkt. Durch mikrobielle Prozesse entstehen in einer Silage auch Verluste, jedoch bemerken die Autoren einen teilweisen Aufschluss der Rohfaserfraktion, die anschließend als Nährstoff in der methanogenen Phase verwertet werden kann (AMON et al. 2004). Auch werden in der Silagebereitung Vorläufersubstrate, wie z.B. Essig oder Milchsäure gebildet. Weiterhin wäre eine Zugabe von Silierhilfsmitteln

möglich, die das Verhältnis der entstehenden Säuren zur Essigsäure verschieben könnten, da sie direkt durch Methanogene Archaeen umgesetzt wird (RÖSCH et al. 2006).

Die Verwendung von Grünlandaufwüchsen mit höherem Rohfaseranteil sehen RÖSCH et al. (2006) wegen der geringen Siliereignung bevorzugt in der Heubereitung. Die in der Praxis gebräuchlichen Mais- und Grassilagen liefern energetische Wirkungsgrade von 80%, faserreiche Substrate hingegen nur ca. 60%.

2.5.1 Silage vs. Heu

Ob Heu- oder Silageprodukte höhere Biogaserträge liefern ist strittig, es liegen unterschiedliche Versuchsergebnisse vor. RÖSCH et al. (2006) kommen zu dem Ergebnis, dass Heu- oder Silageprodukte nur wenig differieren. AMON et al. (2003) ermitteln bei Silagen durchweg signifikant höhere Biogasausbeuten.

2.6 Wichtige Inhalts- und Hemmstoffe

RÖSCH et al. (2006) beziffern den Proteingehalt in Grassilagen zwischen rund 23 und 30 g kg⁻¹ TS, damit sind sie fast doppelt so hoch wie in Maissilagen. Damit kann der Stickstoff zur limitierenden Größe in einer Vergärung werden, da u.U. ein hoher Gehalt an Ammonium und Ammoniak entsteht. EDELMANN (2001) ordnet einen erhöhten Schwefelgehalt ebenfalls als problematisch ein, da er im Prozess zu Schwefelwasserstoff umgewandelt wird, der ab einer Konzentration von 50 ml l⁻¹ hemmend auf die Biogasproduktion wirkt.

Freie Fettsäuren, Schwefelwasserstoff und Ammoniumstickstoff wirken nur in ihren undissoziierten Formen hemmend, die freien Fettsäuren und der Schwefelwasserstoff somit nur bei niedrigen pH Werten, Ammoniumstickstoff bei hohen pH Werten. Zu den wichtigsten Puffersystemen im Fermenter gehören der Carbonatpuffer und der Ammoniakpuffer (OHLY 2006). Weitere bekannte Hemmstoffe sind u.a. Schwermetalle, Antibiotika, erhöhte Salzgehalte und halogenierte oder aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen (FNR 2008). Er führt an, dass es im ungünstigsten Fall zum Umkippen des Fermenters kommt, so dass der Prozess zum Erliegen kommt und die Bakterien absterben. In einem solchen Fall müsse der Gärtank geleert und mit geeignetem Substrat neu angefahren werden.

2.7 Abbaugrad

Der Abbaugrad hängt in großem Maße von der Verweilzeit ab. Je länger das Substrat im Fermenter verbleibt, desto höher sind die Abbaugrade und damit auch die Gas- und Methanausbeuten. Durch höhere Rohfasergehalte in Grünlandaufwüchsen ergeben sich höhere Verweilzeiten (OHLY 2006). RÖSCH et al. (2006) empfehlen Zeiträume bis zu 100 Tagen.

2.8 Substratbereitstellungskosten

Kritiker der Grünlandverwertung in Biogasanlagen führen die höheren Substratbereitstellungskosten an, bzw. die Kosten, die entstehen, um eine Energieeinheit herzustellen. Im Jahr 2005 fielen etwa 7,9 Cent pro kWh_{el} Bereitstellungskosten für Maissilage an, für eine preiswerte Grassilage etwa 8,7 Cent pro kWh_{el}, also ca. 10% mehr. Die für 2010 geplante Anhebung der Grünlandprämie auf das Niveau der Ackerprämie lässt diesen Abstand abschmelzen, so dass sich die Bereitstellungskosten angleichen (RÖSCH et al. 2006).

2.9 Substratzerkleinerung

Ein weitestgehend unerforschtes Kapitel stellt die Auswirkung der Substratzerkleinerung dar. Es wird vermutet, dass auch die Häcksellänge Einfluss auf den Methanertrag nimmt (PROCHNOW et al. 2007). Dies ist auch ein Grund für das Problem, dass Erkenntnisse aus Laborfermenteranlagen nicht auf praktische Verhältnisse anzuwenden sind. Im Labor sind die Substrate zumeist fein gemahlen und erfüllen somit Optimalbedingungen, die so in der Praxis nie zu finden sind.

2.10 Energie im Gärrückstand

EDELMANN (2001) beziffert den Energiegehalt, der im Gärrückstand verbleibt, mit 7% der Energie der abbaubaren Biomasse. Diese Energie bleibt ungenutzt und wird aus dem Fermenter ausgetragen. Zieht man den Energiegehalt aus dem Rückstand von der Bruttoenergie ab, so errechnet man die anaerob abbaubare Energie (AMON et al. 2003).

2.11 Methodische Analytik

In der Planung neuer Biogasanlagen sind detaillierte Kenntnisse über die zu vergärenden Substrate von großer Bedeutung. Es müssen daher Untersuchungen erfolgen, die die Substrate auf Vergärungseignung prüfen (HELFFRICH & OECHSNER 2003). Die Prozesse in einer Biogasanlage sind zu einem gewissen Teil mit den Vorgängen in Wiederkäuern zu vergleichen. Eine wichtige Kenngröße für die Substrate sind hierbei die Verdaulichkeiten.

Verschiedenste Verfahren zur Ermittlung der Verdaulichkeiten etablierten sich in den letzten Jahrzehnten. *In-vivo*-Techniken bringen die zu untersuchenden Substrate, mit Hilfe von Pansenfisteln, direkt in das Tier ein. Einige Nachteile der *in-vivo*-Verfahren sind u.a. die immer strengeren Tierschutzgesetze und der hohe Zeit- und Arbeitsaufwand. Dies führte zur verstärkten Entwicklung von *in-vitro*-Verfahren, bei denen die Verdauung im Reagenzglas stattfindet. (KIRCHGEßNER 1997).

In diesem Zusammenhang sind besonders die Verfahren ELOS und der Hohenheimer Futterwerttest (HFT) zu nennen.

Im ELOS-Verfahren wird durch Salzsäure zunächst ein Voraufschluss erreicht, dann schließt eine Pepsin-Salzsäurelösung Proteine auf. Anschließend erfolgt eine Inkubation mit einer Cellulaselösung, die die Cellulosebestandteile aufschließt. Über den unverdaubaren Rest wird die *in-vitro*-Verdaulichkeit errechnet und daraus auf die Energiedichte geschlossen (KIRCHGEßNER 1997).

Im HFT wird die Verdaulichkeit über die Bildung von Methan und CO₂ errechnet. Das Substrat wird in speziellen Kolben mit Pansensaft unter anaeroben Bedingungen vergoren. Die Notwendigkeit des Pansensaftes schließt allerdings zahlreiche Fehlerquellen mit ein (KIRCHGEßNER 1997).

Eine leicht abgewandelte Form des HFT stellt der Hohenheimer Biogastest (HBT) dar. HELFFRICH & OECHSNER (2003) arbeiteten erstmals mit dieser Modifizierung und fanden u.a. für Grassillagen große Übereinstimmungen zu den Literaturwerten. Somit liefert dieses Verfahren realistische Biogaskenngrößen.

2.12 Arbeitshypothesen

Aus der Literatur lassen sich folgende Punkte zusammenfassend herausstellen:

- Mais ist das meistverwendete Cosubstrat für die Biogasanlagen, das aber zahlreiche agronomische Nachteile in sich birgt
- Grünlandpotenziale zur Gasgewinnung sind nicht ausgeschöpft
- große ökologische Verträglichkeit des Grünlands ist zu erwarten
- Protein-, Fett- und Kohlenhydratanteile sind entscheidend für die Biogasmenge; schwerabbaubare Lignin-, Cellulose- und Faserstoffe behindern die Methanbildung
- HZG lassen aufgrund ihrer Inhaltsstoffzusammensetzungen gute Gaserträge erhoffen
- hohe Proteingehalte können limitierend auf die Gärung wirken
- Verdauungsvorgänge in Wiederkäuern sind zum gewissen Teil mit den Prozessen in Biogasanlagen zu vergleichen
- *In-vitro* Vergärungen testen auf Substrateignung
- HBT liefert realistische Ergebnisse

Daraus lassen sich folgende Fragestellungen ableiten:

1. Bestehen Beziehungen zwischen futterbaulich-relevanten Größen und dem Biogasertrag?
2. Ist der Kolbenfermentationsversuch geeignet um Qualitätsunterschiede verschiedener Arten festzustellen?
3. Lassen sich mit dem Kolbenfermentationsversuch wiederholbare Ergebnisse ermitteln?
4. Gibt es außerordentlich gasertragsreiche/-arme Rein- oder Mischsaaten?
5. Eignen sich HZG zur Vergärung?
6. Wirken sich Lignine oder Tannine auf die Biogasausbeute des *Lotus corniculatus* aus?

3. Material und Methoden

Der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Versuch sollte die Eignung verschiedener Grünlandaufwüchse für die Verwertung in Biogasanlagen prüfen. Zum Einsatz kamen folgende Substrate: *Lolium perenne*, *Lolium perenne* als Hochzuckergras, *Trifolium pratense*, *Medicago sativa* und *Lotus corniculatus*. Diese Pflanzen wurden jeweils als Reinsaat und als Mischung getestet, in der jeweils ein Gras mit jeweils einer Leguminose verwendet wurde. Jede Variante wurde vier Mal wiederholt um statistische „Ausreißer“ erkennen zu können.

3.1 Substrate

Die o.g. verwendeten Substrate stammten aus einem mehrjährigen Parzellenversuch auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof der Universität Gießen in Aumenau, der Gemeinde Villmar. Ursprünglich sollten diese Aufwüchse auf ihre Futtermitteleignung als Rein- oder Mischsaaten erprobt werden. Der Versuchsumfang und die genaue Parzellenanordnung kann der Abbildung 8.1 im Anhang entnommen werden. Folgende Sorten kamen zum Einsatz:

Tabelle 3.1.1: Sortenwahl

Pflanzenart	Zweck	Sorte
<i>Lolium perenne</i>	Hochzuckergras	Aberavon
<i>Lolium perenne</i>	Vergleichssorte	Gladio, Summit und Tivoli
<i>Trifolium pratense</i>		Lucrum
<i>Medicago sativa</i>		Planet
<i>Lotus corniculatus</i>		Oberhaunstädter

Die erhöhten Konzentrationen der wasserlöslichen Kohlenhydrate stehen im Verdacht einen wesentlichen Einfluss auf die Verdaulichkeit und den daraus resultierenden Energiegewinn zu nehmen.

Die zum Einsatz gekommenen Substrate wurden im Herbst 2007 geerntet, getrocknet, gemahlen und in Gläser abgefüllt und standen in dieser Form zur Verfügung. Es wurden nur Varianten des dritten Schnitts verwendet, bei denen große Unterschiede zu erwarten waren.

3.2. Biogasschlamm

Der Biogasschlamm wurde zur Animpfung der Testsubstrate mit Mikroorganismen verwendet. Es war von großer Bedeutung, dass in der Biogasanlage, aus der der aktive Schlamm entnommen wurde, ähnliche Substrate verwendet wurden, wie unter unseren Versuchsbedingungen. Sonst hätte der Fall eintreten können, dass die Mikroorganismengemeinschaft die im Testsubstrat enthaltenen Verbindungen nicht verwerten kann und so unrealistische Biogasproduktionen gemessen werden.

In diesem Fall bot eine Biogasanlage in Villmar, die von der EEV GmbH betrieben wird, geeignete Voraussetzungen. Hauptsächlich wird die Anlage mit konventionellem Silomais und Gülle betrieben, der unregelmäßige Beigaben von Roggen-Ganzpflanzensilage (RoggenGPS) folgen.



Bild 3.2.1 Biogasanlage in Villmar

Die Schlammentnahme erfolgte direkt aus dem Fermenter und wurde in Thermoskannen unter thermostabilen und anaeroben Bedingungen auf das Versuchsgelände transportiert. Aus dem Schlamm wurden Grobbestandteile entfernt und die nun flüssige Substanz konnte durch zwei feine Siebe (1,2 mm und 0,71 mm) ablaufen. Der aufbereitete Biogasschlamm wurde im Verhältnis 1:1 mit angewärmtem Wasser verdünnt und in vorgewärmten 1 Liter Polyethylengefäße unter anaeroben Bedingungen kurze Zeit gelagert.

3.3 Biogas-Versuchsdurchläufe

Es fanden insgesamt zwei Versuchsdurchläufe statt, von denen der erste Durchlauf Testcharakter hatte. Die Methodik sollte auf Belastbarkeit der Werte und Signifikanzen der Unterschiede überprüft werden.

Die Biogasproduktion wurde unter Laborbedingungen im Kolbenfermentationsverfahren simuliert. Die Kolben sind aus Glas gefertigt und haben ein Fassungsvermögen von 100 ml, die über eine aufgedruckte Skala abzulesen sind. In dem zweiten Versuchsdurchlauf wurde mit 48 Glaskolben gearbeitet. In jeden Kolben wurde 0,5 g Substrat mit einer Fehlertoleranz von 0,02% eingewogen. Pro Variante wurden vier Wiederholungen angesetzt und vier Kolben blieben zur Ermittlung des Gasertrages, der nur durch den Biogasschlamm verursacht wurde, ohne Substratzugabe. Davon wurden zwei Kolben mit dem verdünnten Biogasschlamm befüllt, mit dem auch die Proben versetzt waren und zwei Kolben wurden mit unverdünntem Schlamm befüllt, so wie er auch in der Biogasanlage vorliegt. An der vorderen Auslassöffnung der Kolben ist jeweils ein etwa 8 cm langer Plastikschauch befestigt, der im Versuchsablauf durch eine Schlauchklemme verschlossen wird. Auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb wurde jeweils 30 ml des aufbereiteten Biogasschlammes in die Kolben gegeben. Als Hilfsmittel diente eine Dispensette.



Bild 3.3.1 eingewogene Glaskolben



Bild 3.3.2 Dispensette

Der mit Vaseline eingefettete Stempel schloss luftdicht den hinteren Teil des Kolbens ab. Die befüllten Kolben wurden in einem Klimaschrank bei konstanten 39°C inkubiert. Ein kleiner Ventilator sorgte für eine gleichmäßige Lufttemperatur, die über ein Thermometer kontrolliert wurde. Eine gleichmäßige Durchmischung des Substrat-Biogasschlamm-Gemisches wurde durch einen Rotor gewährleistet. Das gebildete Biogas sorgte für einen Überdruck in den Kolben und drückte die Stempel aus den Kolben. Das entstandene Gasvolumen konnte auf der aufgedruckten Skala abgelesen werden. In den Versuchsdurchlauf wurden auch zwei ungefüllte Kolben integriert, um eventuelle Kolbenauslenkungen durch einfache Erwärmung aufzeigen zu können.



Bild 3.3.3 Kolben vor der Gasentwicklung



Bild 3.3.4 Kolben nach der Gasentwicklung

Da wesentlich mehr Biogas entstand, als die Kolben auf einmal fassen konnten, wurden sie des öfteren abgelesen und zurückgestellt.

Tabelle 3.3.1 Ablesetermine

Termin 1:	6. Juni 2008
Termin 2:	7. Juni 2008
Termin 3:	8. Juni 2008
Termin 4:	9. Juni 2008
Termin 5:	10. Juni 2008
Termin 6:	12. Juni 2008
Termin 7:	14. Juni 2008
Termin 8:	16. Juni 2008
Termin 9:	19. Juni 2008
Termin 10:	27. Juni 2008

3.4 Biogas-Auswertung

Die abgelesenen Werte wurden in einer Excel-Tabelle gesammelt und um die Nettobiogasbildung, die durch den Biogasschlamm alleine entstand, bereinigt. Die Variantenwiederholungen wurden zu Mittelwerten zusammengefasst und die Gasbildung pro Stunde ermittelt. Diese Ergebnisse wurden aufsummiert und in Grafiken dargestellt. Die Tabellen sind im Anhang angehängt.

Durch das Programm „SPSS für Windows“ Version 12.0 (ANONYMUS 2003) erfolgte eine mehrfaktorielle Varianzanalyse, deren Tests auf Signifikanz folgende Sicherungsniveaus zugrunde gelegt wurden:

➤ F-Test für Varianzanalyse:

Signifikanzniveau 5% in den Tabellen gekennzeichnet durch: *

Signifikanzniveau 1% in den Tabellen gekennzeichnet durch: **

➤ multipler t-Wert für Einzelwerte:

Signifikanzniveau 5%

Die Signifikanzen für die gesamte Gruppe wurden zu den verschiedenen Messtagen ermittelt. Zusätzlich erfolgte eine Aufschlüsselung der Signifikanzen einzelner Varianten an den verschiedenen Messtagen. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 8.5 bis 8.7 im Anhang aufgeführt.

3.5 Weitere Laboranalysen

Die C- und N-Gehalte wurden mittels Elementaranalyse nach Hochtemperaturverbrennung bestimmt; mit Hilfe des ELOS-Verfahrens (Enzymlösliche organische Substanz) die Verdaulichkeit (ANONYMUS 1997). Der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten (wLK) wurde durch Anthron ermittelt (YEMM & WILLIS 1954).

Diese anerkannten futtermittelanalytischen Verfahren sollten von dem Biogasversuch unabhängige Ergebnisse liefern. Die Resultate beider Versuche wurden verglichen und auf Zusammenhänge geprüft.

4. Ergebnisse

4.1 Aufsummierte Gasmittelwerte pro Stunde

Die Abbildung 4.1.1 zeigt die aufsummierten Mittelwerte pro Stunde der Gasentwicklungen der unterschiedlichen Substrate, die an neun Messtagen ermittelt und wurden.

Die höchste aufsummierte Biogasausbeute pro Stunde bietet *Lolium perenne* als Hochzuckergrassorte (HZG) in Reinsaat, dicht gefolgt von HZG mit *Trifolium pratense* in Mischsaat. Einen wesentlich geringeren aufsummierten Biogasertrag pro Stunde bringen *Medicago sativa* und *Trifolium pratense* in Reinsaat. Die geringste Gasmenge wird bei *Lotus corniculatus*, ebenfalls in Reinsaat, ermittelt. Somit liefern alle getesteten Leguminosen in Reinsaat die schwächsten Biogaserträge pro Stunde. Die Volumenbildung startet unverzüglich ohne lange Anlaufphase. Bis auf zwei Ausnahmen liegen sie in der Startphase auch sehr dicht zusammen und verlaufen weitestgehend parallel. *Lotus corniculatus* in Mischsaat zeigt eine deutlich schlechtere Anlaufphase als *Lotus corniculatus* in Reinsaat.

Ab dem vierten Tag ist eine allgemein deutliche Abnahme der Gasbildung zu erkennen. Nach einer zunächst relativ einheitlichen Entwicklung beginnt nun eine sichtbare Differenzierung der verschiedenen Substrate.

Der Rückgang der Gasmengen erfolgt ebenfalls zu gleichen Zeiten. Ab dem dreizehnten Tag ist die Volumenbildung nahezu abgeschlossen.

Die Biogasbildung kann in drei Etappen eingeteilt werden:

- Die Startphase, in der die Gasentwicklung der Substrate noch sehr eng zusammen liegen,
- die Zwischenphase, in der eine deutliche Differenzierung stattfindet und
- die Schlussphase, in der die Gasbildung rasch zum Erliegen kommt.

Alle drei Etappen finden bei den verschiedenen Substraten nahezu gleichzeitig statt.

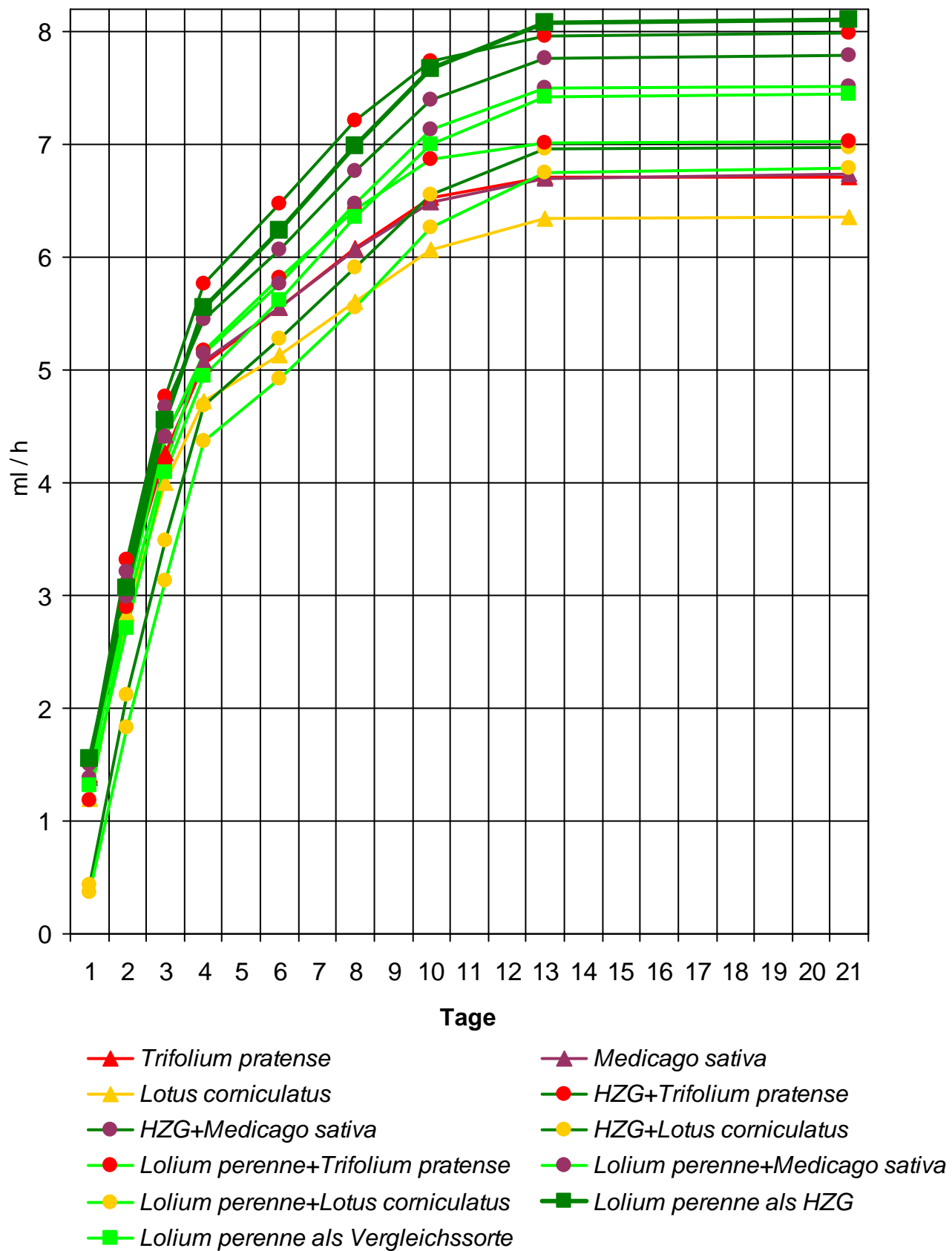


Abb. 4.1.1: Kumulierte Gasmittelwerte pro Stunde, gesamter Versuch

4.2 Aufsummierte Gasmittelwerte

Abbildung 4.2.1 beschreibt die Summe der Mittelwerte der einzelnen Varianten. Im Unterschied zu Abb. 4.1.1 werden die Werte hier nicht auf die Gasbildung pro Stunde umgerechnet, sondern über den gesamten Versuchsverlauf. Somit kann aus dieser Abbildung abgelesen werden, wie viel Gas die verschiedenen Varianten insgesamt abgegeben haben.

Auch hier zeigt das HZG in Reinsaat die höchste Gasbildung von 276 ml und *Lotus corniculatus* in Reinsaat die Schlechteste von 207 ml.

Die Leguminosen zeigen auch bei dieser Betrachtung die schlechtesten Ergebnisse. Auffällig ist jedoch, dass die Mischungen mit *Lotus corniculatus* sowohl mit dem HZG als auch mit der Vergleichssorte im Endeffekt gleiche Biogasausbeuten, von 239 ml und 240 ml, liefern. Ansonsten ähneln sich die beiden Abb. 4.2.1 und 4.1.1 in ihren Aussagen sehr stark.

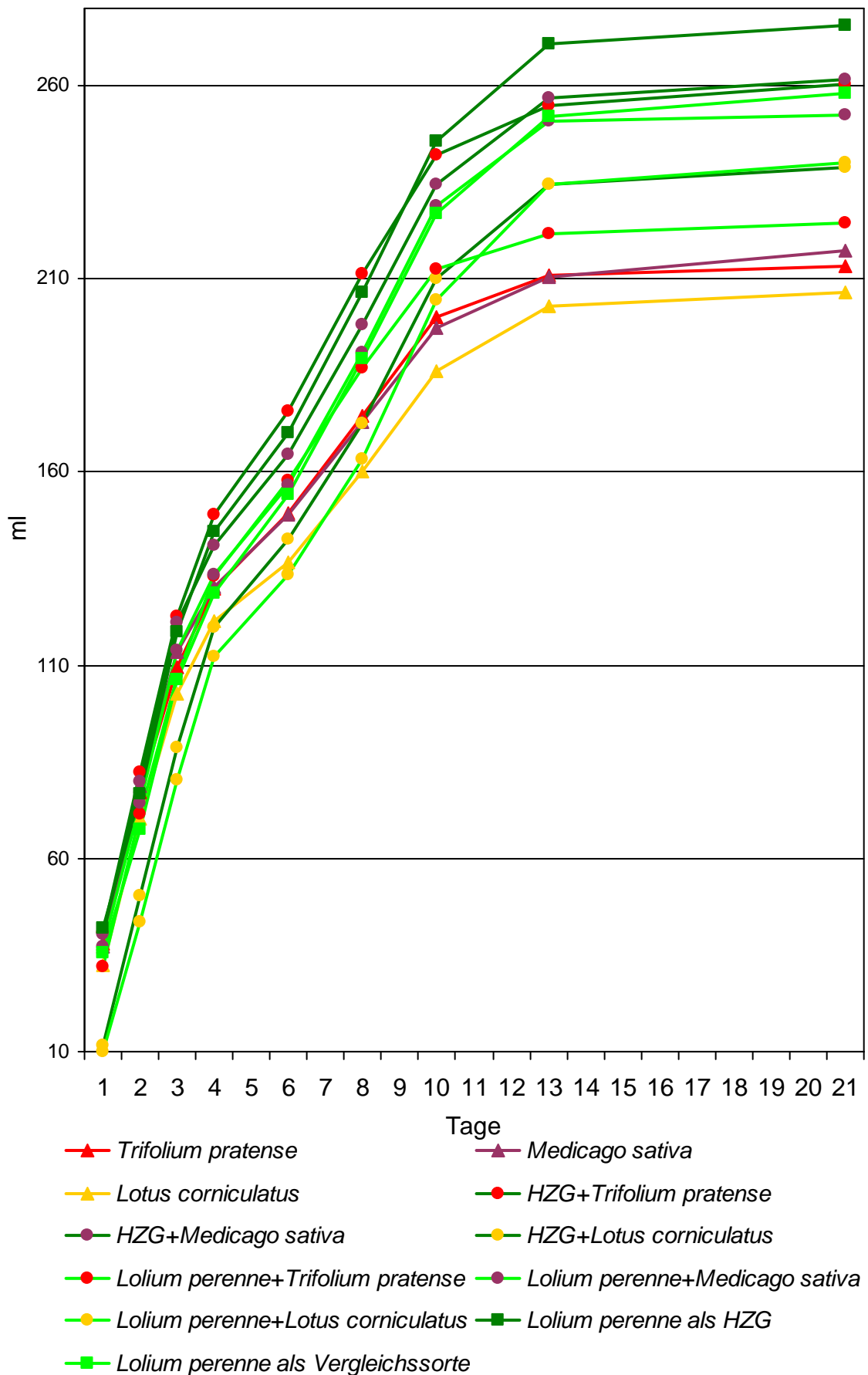
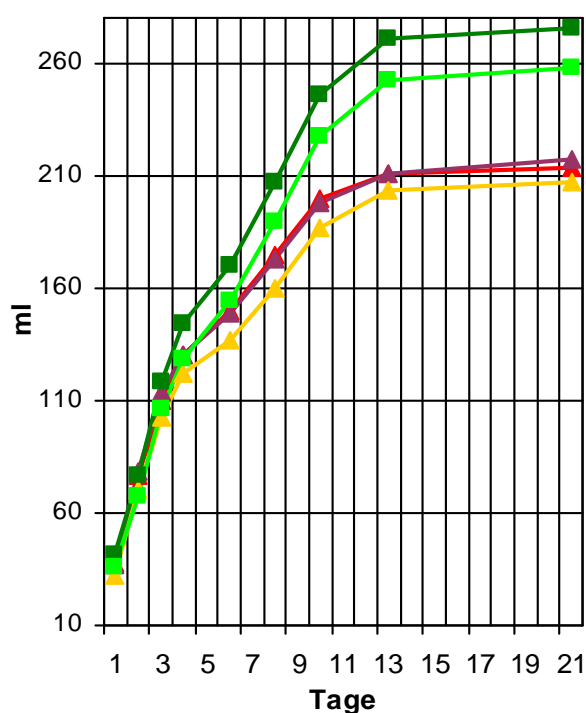


Abb. 4.2.1: kumulierte Gasmittelwerte, gesamter Versuch

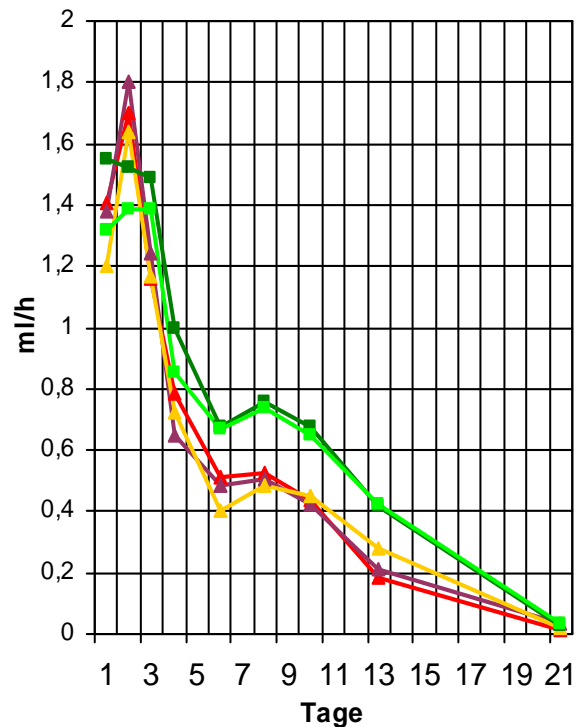
Im Folgenden werden die Ergebnisse ausgewählter Substrate genauer beschrieben.

4.3 Gräser vs. Leguminosen



▲ *Trifolium pratense*
 ▲ *Medicago sativa*
 ▲ *Lotus corniculatus*
 ■ *Lolium perenne* als HZG
 ■ *Lolium perenne* als Vergleichssorte

Abb. 4.3.1: kumulierte Gasbildung gesamt (Gräser und Leg.), Mittelwerte

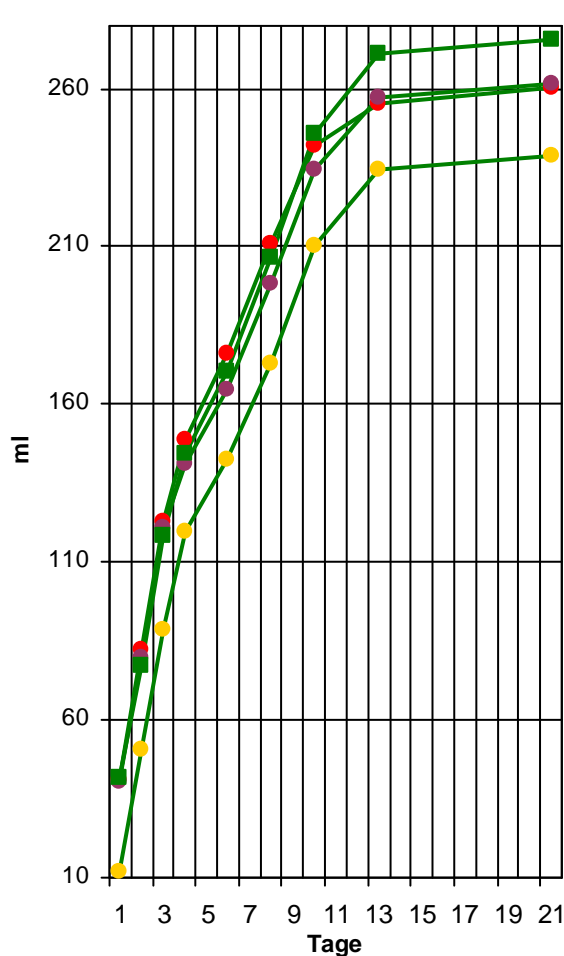


▲ *Trifolium pratense*
 ▲ *Medicago sativa*
 ▲ *Lotus corniculatus*
 ■ *Lolium perenne* als HZG
 ■ *Lolium perenne* als Vergleichssorte

Abb. 4.3.2: Gasbildung pro Stunde (Gräser und Leg.), Mittelwerte

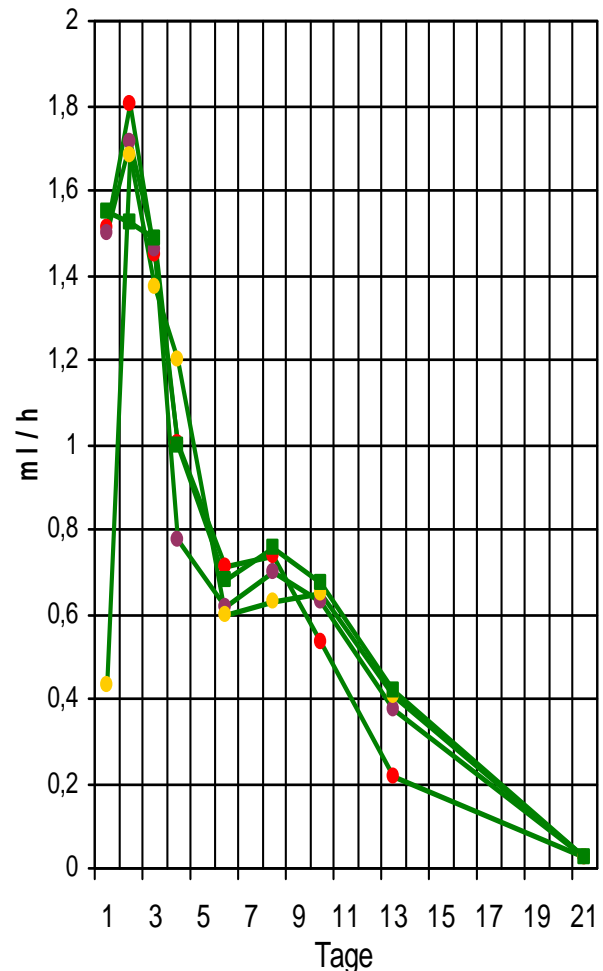
Abbildung 4.3.1 zeigt die aufsummierten Gasmengen von den Grassorten und den Leguminosen. Die Leguminosen liegen zu jedem Zeitpunkt unter den Gräsern. Nach einer fast identischen Startphase differenzieren sich die Gasmengen ab dem vierten Versuchstag deutlich. Das HZG liefert durchweg höhere Gasmengen als *Lolium perenne*, nämlich 275,5 ml verglichen zu 258 ml. *Trifolium pratense* liefert 213 ml, *Medicago sativa* 217 ml und *Lotus corniculatus* erreicht 206 ml. Insgesamt liegen die Ergebnisse der Leguminosen relativ eng beieinander. *Lotus corniculatus* liefert, obwohl alle Substrate bis zum vierten Tag sehr nahe beieinander liegen, die niedrigsten Ergebnisse in dieser Versuchsreihe. Abbildung 4.3.2 zeigt die nicht kumulierten Gasbildungswerte pro Stunde, die an den neun Messtagen als Mittelwerte abgebildet sind (vgl. Anhang Tabelle 1). Alle Leguminosen bilden zu Anfang mehr Biogas als die Gräser, fallen in ihrer Entwicklung vor allem zwischen dem dritten und neunten Tag stark ab.

4.4 HZG Reinsaat vs. HZG Mischungen



● HZG+*Trifolium pratense*
 ● HZG+*Medicago sativa*
 ● HZG+*Lotus corniculatus*
 ■ *Lolium perenne* als HZG

Abb. 4.4.1: kumulierte Gasbildung gesamt (HZG-Reinsaat und HZG-Mischung), Mittelwerte



● HZG+*Trifolium pratense*
 ● HZG+*Medicago sativa*
 ● HZG+*Lotus corniculatus*
 ■ *Lolium perenne* als HZG

Abb. 4.4.2: Gasbildung pro Stunde (HZG-Reinsaat und HZG-Mischung), Mittelwerte

Abb. 4.4.1 offenbart, dass HZG in Reinsaat mit 275,5 ml einen höheren Endwert liefert als HZG in jeglichen untersuchten Mischaaten, jedoch liegt die Mischung HZG mit *Trifolium pratense* von dem vierten bis zum elften Versuchstag über den Reinsaat-Ergebnissen. Die besten Resultate unter den Mischungen brachten HZG mit *Trifolium pratense* mit 260 ml und HZG mit *Medicago sativa* mit 262 ml. Das HZG mit *Lotus corniculatus* liegt mit 239 ml weit abgeschlagen hinter den anderen Werten. *Lotus corniculatus* produziert auch in Reinsaat die geringsten Gasvolumina. Dies wird auch durch die Tabelle 8.7 im Anhang statistisch bestätigt. Das Signifikanzniveau beträgt bei diesem Sortenunterschied 99,9% und bei HZG und

HZG mit *Trifolium pratense* 95%. Der Vergleich zwischen HZG und HZG mit *Medicago sativa* resultiert in nicht signifikanten Unterschieden. Dennoch bildet HZG mit *Trifolium pratense* in der Summe höhere Biogasmengen als HZG mit *Medicago sativa*, sie erreicht auch nach Abb. 4.4.2 die höchste Gasbildung pro Stunde. Die Mischung HZG mit *Lotus corniculatus* zeigt in der Startphase die deutlich geringsten Biogasproduktionsraten pro Stunde. Ab dem neunten Versuchstag liegt die Mischung mit *Trifolium pratense* in der stündlichen Gasproduktion unter den restlichen Varianten.

4.5 *Lolium perenne* Reinsaat vs. *Lolium perenne* Mischsaat

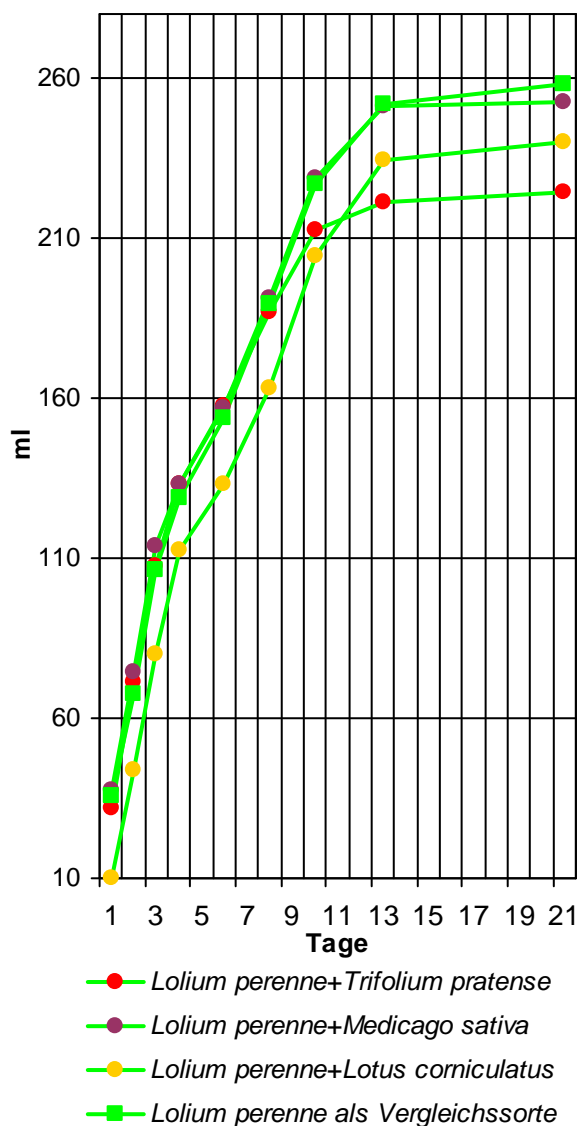


Abb. 4.5.1: kumulierte Gasbildung gesamt (L.p.-Reinsaat und L.p.-Mischung), Mittelwerte

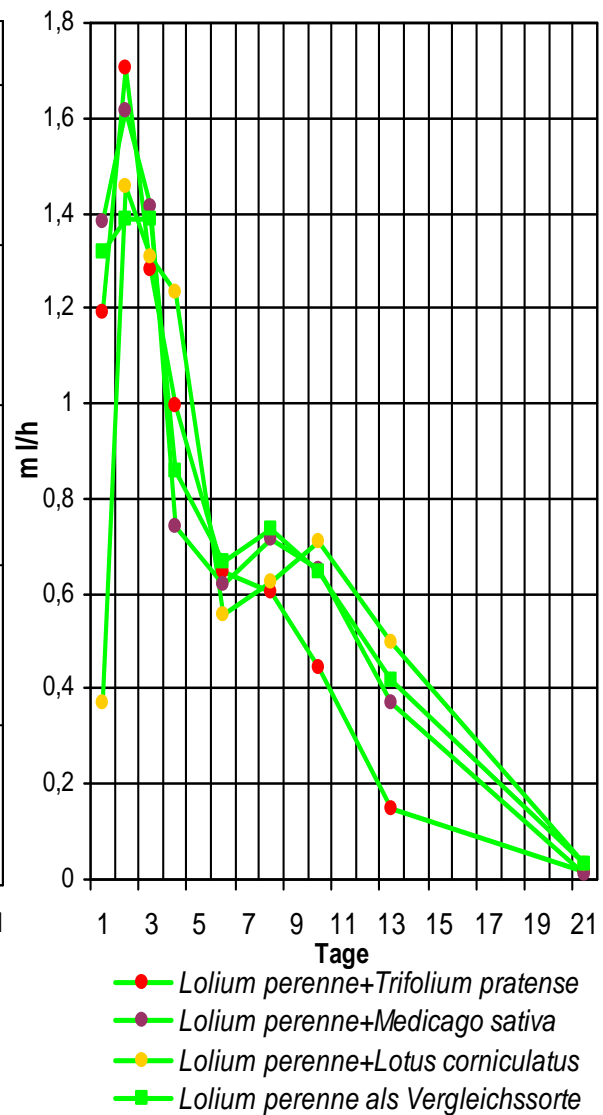


Abb. 4.5.2: Gasbildung pro Stunde (L.p.-Reinsaat und L.p.-Mischung), Mittelwerte

Nach Abb. 4.5.1 liegen die Biogasmengen der Mischung *Lolium perenne* mit *Medicago sativa* und der Reinsaat *Lolium perenne* sehr dicht beieinander. Tabelle 8.3 im Anhang beziffert einen Mehrertrag von 5,5 ml der Mischung. Im Unterschied zu der HZG-Mischung liegt hier die *Lolium perenne* Mischung mit *Lotus corniculatus* ab dem elften Tag über der Mischung *Lolium perenne* mit *Trifolium pratense*, denn ab dem neunten Tag fällt die Gasproduktion der Mischung mit *Trifolium pratense* stark ab und wird von der Mischung mit *Lotus corniculatus* in der Gasbildungsrate überholt. Laut der statistischen Auswertung, die in Tabelle 8.7 im Anhang aufgeführt ist, ergeben sich folgende Sachverhalte. *Lolium perenne* in Reinsaat hat die größte Signifikanz von 99,9% zu der *Trifolium pratense* Mischung, eine etwas kleinere von 95% zu der *Lotus corniculatus* Mischung und eine von weniger als 95% zu der *Medicago sativa* Mischung. Somit wurde ein Unterschied zu den HZG festgestellt, bei denen die größte Signifikanz zwischen HZG und HZG mit *Lotus corniculatus* liegt. Nach Abb. 4.5.2 bildet auch hier die Mischung mit *Trifolium pratense* die höchste Gasproduktion pro Stunde, auch die Mischung mit *Lotus corniculatus* liegt in der Startphase wieder weit abgeschlagen von den restlichen Substraten. Ab dem achten Versuchstag jedoch bildet die Mischung mit *Trifolium pratense* geringere Gaswerte pro Stunde als die *Lotus corniculatus* Mischung.

Die Ergebnisse der HZG Mischungen und der *Lolium perenne* Mischungen stimmen in den Verhältnissen weitestgehend überein, jedoch sind die Ergebnisse der HZG Mischungen durchweg auf einem höheren Gasniveau.

4.6 HZG vs. *Lolium perenne*

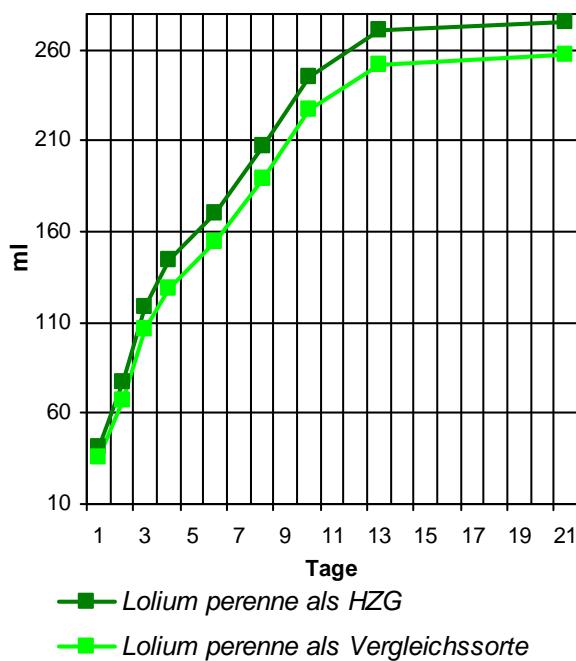


Abb. 4.6.1: kumulierte Gasbildung gesamt (HZG und L.p.), Mittelwerte

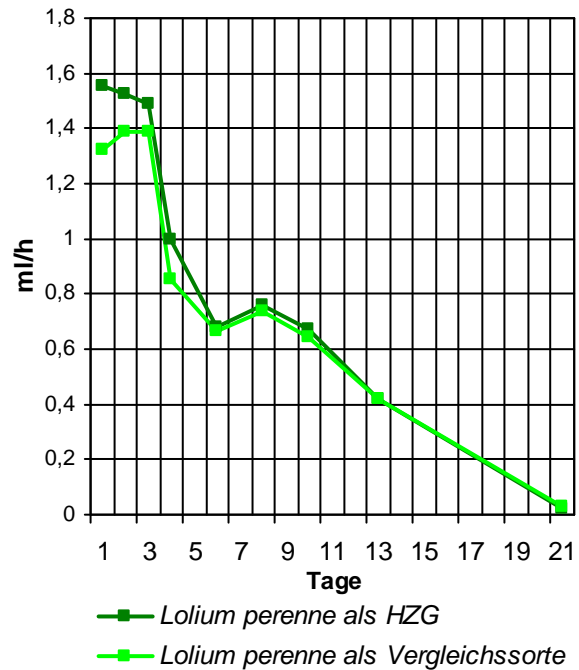


Abb. 4.6.2: Gasbildung pro Stunde (HZG und L.p.), Mittelwerte

Abbildung 4.6.1 stellt die Gasproduktionen des HZG und der Vergleichssorte *Lolium perenne* gegenüber. Auch hier entwickeln sich die Volumina erst ab dem vierten Versuchstag unterschiedlich. Die Vergleichssorte bleibt in ihrer Gasentwicklung stetig unter der des HZG. Im Endeffekt entwickelt das HZG 275,5 ml, die Vergleichssorte 258 ml Biogas. Tabelle 8.7 im Anhang zeigt in der Summe signifikante Unterschiede von über 95%. Abbildung 4.6.2 zeigt, dass das HZG zunächst deutlich überlegen ist, sind jedoch die gebildeten Volumina ab dem siebten Versuchstag nahezu angleichen. Dies erklärt die nicht-signifikanten Unterschiede an den unterschiedlichen Messtagen, die in Tabelle 8.7 im Anhang aufgeführt sind.

4.7 weitere Ergebnisse

Die zwei ungefüllten Kolbenprober zeigen keine Kolbenauslenkung. Die zwei Kolben mit dem unverdünnten Biogasschlamm zeigen nur an den ersten und den letzten zwei Messtagen etwas höhere Gaserträge.

5. Diskussion

5.1 Gasertrag und wasserlösliche Kohlenhydrate

Aus Kapitel 4.6 geht hervor, dass das HZG höhere Biogaserträge liefert als die Vergleichssorte. Somit scheint der züchterische Fortschritt der Gasausbeute zugute zu kommen. JÄNICKE (2005) bestätigt, dass die HZG im Mittel höhere Zuckergehalte aufweisen.

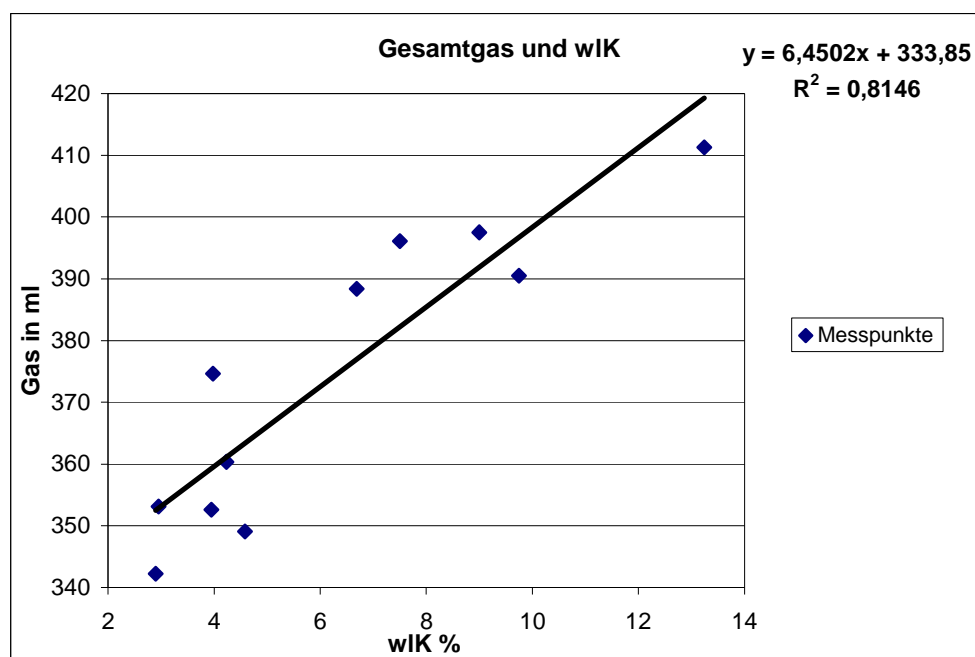


Abb. 5.1.1: Beziehung zwischen Gesamtgas und wasserlöslichen Kohlenhydraten

Abb. 5.1.1 stellt dar, dass ein starker Zusammenhang zwischen dem Gasertrag und dem Gehalt an wLK besteht. Das wäre eine Erklärungshypothese für die höhere Gasproduktion des HZG. Abb. 4.6.2 legt offen, dass dieser Mehrertrag nur auf der stärkeren Gasbildung in den ersten drei Tagen basiert. Dies lässt vermuten, dass die Mikroorganismen zuerst die schnell verwertbaren wLK verstoffwechseln, bevor die anderen Nährstoffe abgebaut werden. Es findet ein Maximum an Gasproduktion statt, die aber nach dem Aufbrauchen des erhöhten wLK-Gehalts auf das Niveau der Vergleichssorte abfällt.

Der Vorteil des erhöhten Kohlenhydratanteils ist auch in den Mischungen bemerkbar. Abb. 4.2.1 und Tabelle 8.3 im Anhang belegen dies. LASER (1999) spricht von abnehmenden Zuckergehalten der Gräser in Mischungen mit Leguminosen. Dies

erklärt die besseren Reinsaatergebnisse der Gräser im Vergleich zu den Mischungsergebnissen, vgl. Tabelle 8.3 im Anhang.

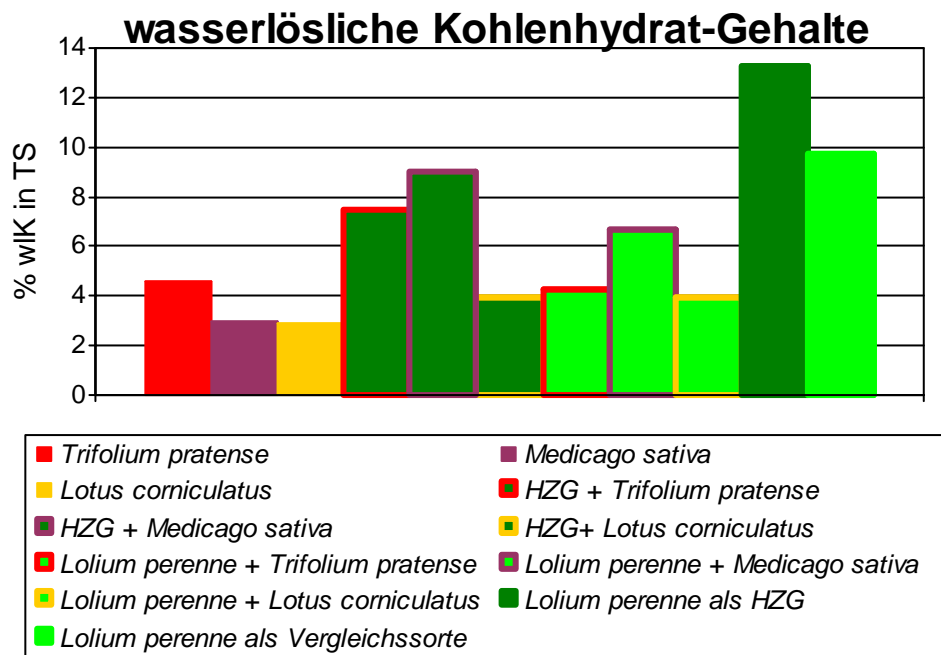


Abb. 5.1.2: wasserlösliche Kohlenhydrat-Gehalte der Versuchsvarianten

In Abb. 5.1.2 sind die unterschiedlichen wK-Gehalte der Versuchsvarianten dargestellt. Auch diese Abbildung unterstreicht die Ergebnisse von LASER (1999), denn Leguminosen allein sind arm an wK. Der mit Abstand höchste wK-Gehalt befindet sich in den Hochzuckergräsern in Reinsaat. Bemerkenswert ist, dass die *Lotus corniculatus* Mischungen die erhöhten wK-Gehalte der Gräser nur schlecht annehmen. Ein Grund hierfür könnten ein erhöhter *Lotus corniculatus* Anteil in den Aufwüchsen sein.

5.2 Gasertrag und Stickstoff-Gehalt der Aufwüchse

Während die Leguminosen in Reinsaat schlechte Ergebnisse liefern, profitieren sie im Bezug auf die Gasausbeute erheblich durch die Beimischung von Gräsern. Eine Erklärungshypothese dafür lässt sich über den Stickstoffgehalt anstellen. Generell enthalten Leguminosen aufgrund ihrer Fähigkeit Luftstickstoff zu binden einen im Vergleich zu Gräsern erhöhten Stickstoffgehalt. Im Mischanbau von Leguminosen und Gräsern liegt der N-Gehalt der Gräser deutlich höher als der N-Gehalt von den Gräsern in Reinsaat. Der Grund hierfür liegt in der geringeren Konkurrenz um die Aufnahme des Stickstoffs während der Wachstumszeit, da die Leguminosen kaum

als Konkurrenten auftreten. Die dichten Wurzelwerke der Gräser zeichnen sich durch hohe Aneignungsfähigkeiten für Bodenstickstoff aus. Neben dem vorhandenen Bodenstickstoff nehmen sie auch den mineralisierten Luftstickstoff der Leguminosen auf. Bei geringen Grasanteilen kann der N-Gehalt deutlich über dem der Leguminosen liegen. Abb. 5.2.1 präsentiert die konkreten Gehalte der untersuchten Sorten. Zunächst bestätigt sie die Annahme der höheren N-Gehalte der Mischungen verglichen mit den Gras-Reinsaaten. Auch nimmt die N-Menge von *Trifolium pratense* in der Mischung durch die größere Verteilung ab, dagegen ist dies bei *Medicago sativa* und *Lotus corniculatus* nicht erkennbar.

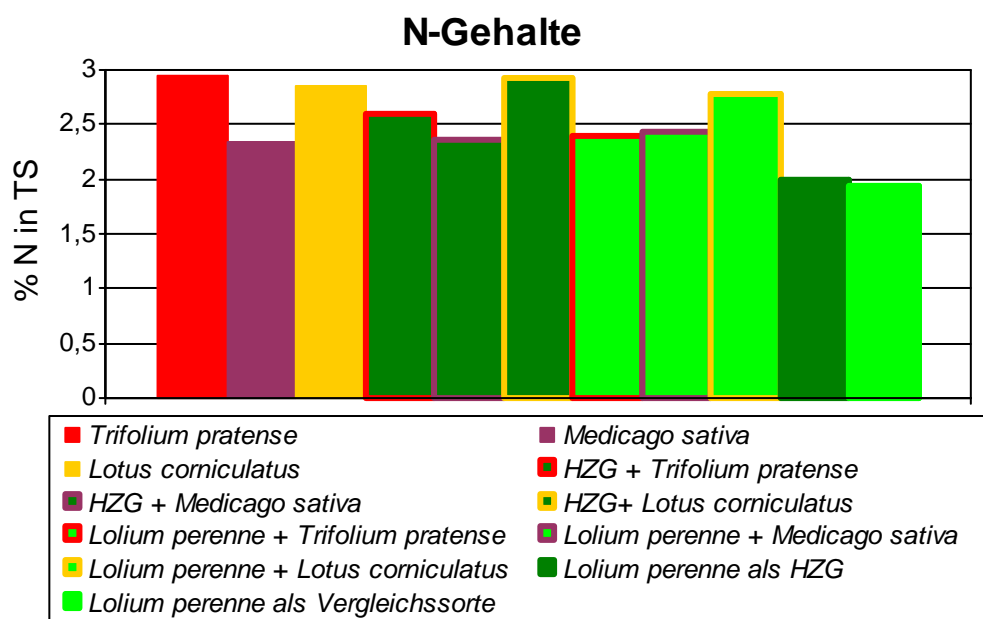


Abb. 5.2.1: N-Gehalte in der TS der untersuchten Varianten

Die wichtigste N-Speicherform stellen Proteine dar, die durchschnittlich rund 16 % Stickstoff enthalten (KIRCHGEßNER 1997). Mikroorganismen, die mit hohen Stickstofffrachten konfrontiert werden, können Probleme mit der vollständigen Verwertung bekommen. Nach RÖSCH et al. (2006) entstehen dabei Ammoniak und Ammonium in erhöhter Konzentration, die hemmend auf die Mikroorganismenaktivität wirken. Da Stickstoff ein essenzieller Nährstoff ist, müssen die Substrate aber auch über ein Mindestmaß verfügen. Eine Mischung aus stickstoffärmeren Gräsern und stickstoffreicheren Leguminosen scheint optimal.

Abb. 5.2.2 zeigt die Beziehung zwischen dem N-Gehalt und der Gesamtgasausbeute. Das Bestimmtheitsmaß $[R^2]$ zeigt, dass der N-Gehalt weniger stark mit dem Gasertrag zusammenhängt als der wK-Gehalt. Jedoch besteht der

Zusammenhang, dass die Varianten, die in Abb. 5.2.1 die höchsten N-Gehalte aufweisen, auch in Abb. 4.2.1 die niedrigsten Gasmengen in ihren Klassen produzieren. Es ist anzunehmen, dass Hemmwirkungen durch Ammoniak oder Ammonium erst ab einer bestimmten Stickstoff-Konzentrationsschwelle auftreten.

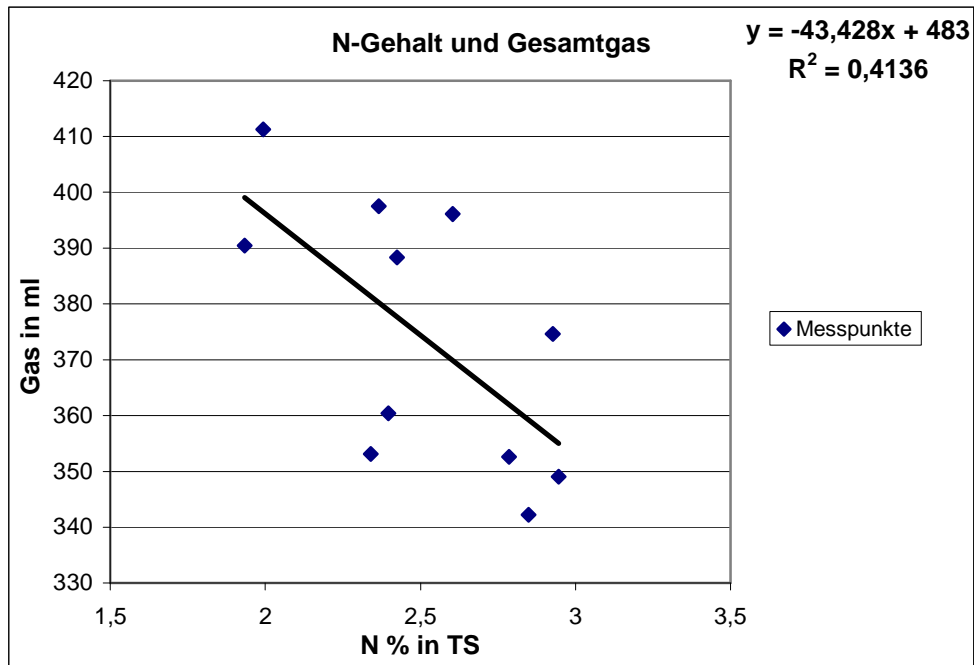


Abb. 5.2.2: Beziehung zwischen dem N-Gehalt der Aufwüchse und dem Gesamtgasertrag

5.3 wasserlösliche Kohlenhydrate und Stickstoff-Gehalt der Aufwüchse

Erklärungen für gute Gaserträge der HZG-Mischungen trotz höherer N-Gehalte könnten dadurch erklärt werden, dass erhöhte wLK-Konzentrationen die negativen Effekte des Stickstoffs etwas relativieren.

Aufgrund der wLK-Armut der Leguminosen erscheint eine Mischung mit Gräsern auch aus diesem Grunde vorteilhaft. Die Leguminosen versorgen die Gräser mit Stickstoff, die Gräser die Leguminosen mit wLK. Abb. 5.3.1 verdeutlicht dies. Die N-Gehalt-Abnahmen der Leguminosen in den Mischungen sind in dem Beispiel nicht zu erkennen. Dies liegt jedoch mit großer Wahrscheinlichkeit an den konkreten Bedingungen des Versuchsfeldes. Die Stickstoffversorgung ist vermutlich ausreichend, so dass eine N-Versorgung der Gräser durch die Leguminosen nicht erforderlich wurde.

Die Zunahme der wlk-Gehalte ist hingegen deutlich zu erkennen. Bis auf *Lotus corniculatus* sind die wlk-Gehalte in den HZG-Mischungen deutlich höher als in den Vergleichssortenmischungen.

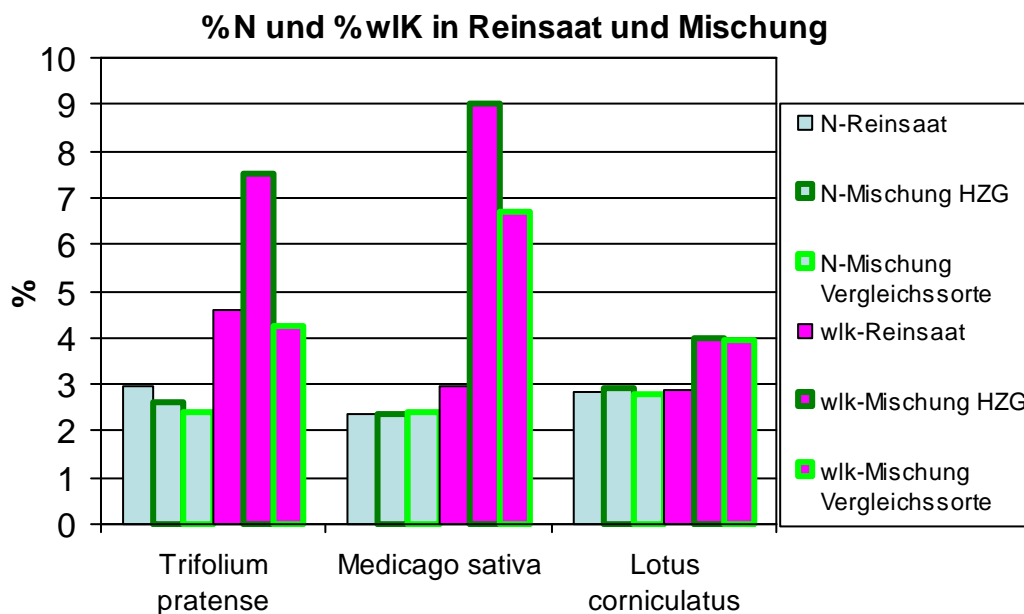


Abb. 5.3.1: N- und wLK-Gehalte der Leguminosen in Reinsaat und Mischung

Besonders im Bezug auf den Pflanzenertrag sind diese Effekte erkennbar, wie es Abb. 5.3.2 verdeutlicht.

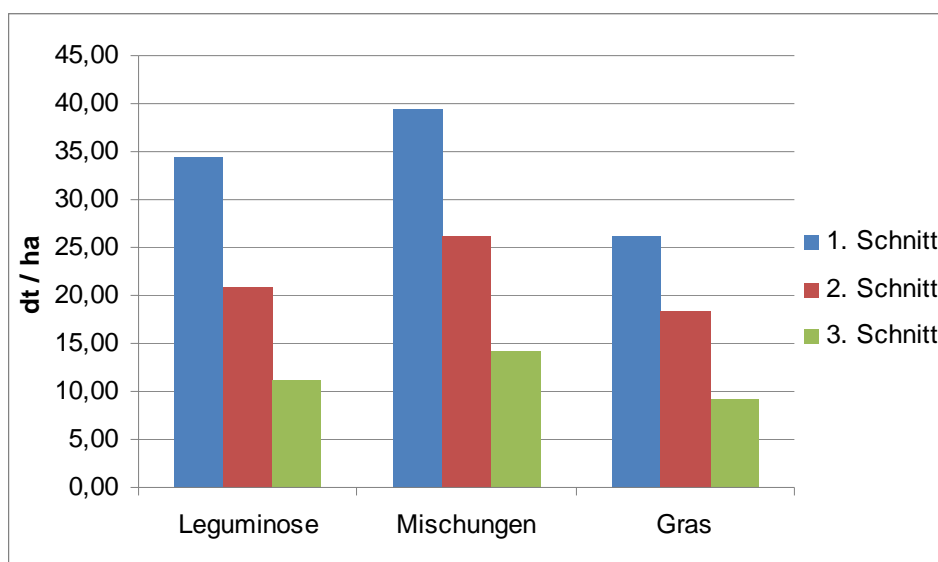


Abb. 5.3.2: Mischungseffekte auf den Ertrag

5.4 Verdaulichkeit und Gasertrag

Ein wichtiger Bestandteil dieser Arbeit ist die Ermittlung des Zusammenhangs von Verdaulichkeit und Biogasertrag. Abb. 5.4.1 zeigt ein Bestimmtheitsmaß von 0,72, das durch die durchgeführten Versuche kalkuliert werden konnte. Dies zeigt auf, dass die Verdaulichkeit als Annäherung für die Biogasausbeute herangezogen werden kann.

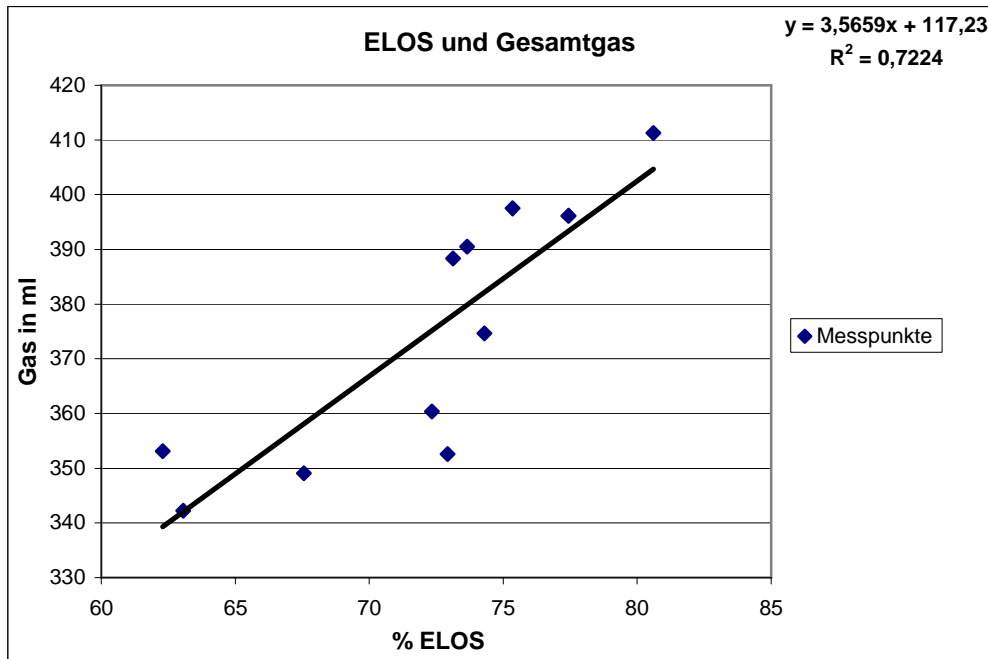


Abb. 5.4.1: Beziehung zwischen der enzymlöslichen organischen Substanz (ELOS) und dem Gas-ertrag

Abb. 5.5.1 präsentiert die Verdaulichkeiten der untersuchten Substrate. Das HZG zeigt in diesem Versuch die höchste, die Leguminosen zeigen die geringste Verdaulichkeit. Die Mischungen erreichen etwa gleiche Werte.

Wird ein Vergleich der Verdaulichkeit mit den Ergebnissen des Biogastests angestrebt, so ist es unerlässlich zu berücksichtigen, welche Methoden den Werten zugrunde lagen. Die Verdaulichkeit wurde durch das ELOS-Verfahren ermittelt, die Biogaserträge durch Kolbenfermentation mit Biogasschlamm, der direkt aus einer Biogasanlage entnommen wurde, vgl. Kapitel 3.2 und 3.3. Während ELOS einen rein enzymatischen Abbau bedeutet, wurden in dem Biogastest Mikroorganismen benutzt, die in genau dieser Zusammensetzung unter realen Bedingungen vorkommen.

5.5 Besonderheit des *Lotus corniculatus*

Lotus corniculatus zeigt keine wesentlich geringere Verdaulichkeit als die restlichen Substrate, jedoch zeigt er in den Biogastests immer geringere Gasentwicklungen. Dafür gibt es im ersten Moment zwei Erklärungshypothesen. Erstens enthält *Lotus corniculatus* erhöhte Gehalte an Lignin. Abhängig vom physiologischen Alter des Aufwuchses können hier beträchtliche Ligningehalte von 6 bis 10 % angenommen werden (LASER 1999). Diese sind sehr schwer abbaubar und somit sinkt bei erhöhtem Ligningehalt die Energiedichte. Lignin ist auch enzymatisch schwer abzubauen, das bedeutet, hohe Ligningehalte müssten auch die Verdaulichkeit beeinträchtigen. Laut Abb. 5.5.1 ist dies jedoch nicht der Fall. Als Grund dafür könnte angeführt werden, dass die Ligningehalte in den Substraten allgemein nicht besonders hoch sind und damit scheidet Lignin hier als entscheidender Hemmfaktor aus.

Als zweite Hypothese kommt der, im Vergleich zu den anderen getesteten Leguminosen, erhöhte Gehalt an Tanninen in Betracht. Diese sind pflanzliche Sekundärstoffe, die besonders in der Abwehr von Herbivoren ihre Verwendung finden, aber auch als antibiotisch wirksam gelten. Eine hohe Konzentration an Tanninen ist ebenfalls häufig assoziiert mit hoher Lignin-, geringer Rohprotein- und geringer *in-vitro* verdaubarer Trockenmassenkonzentration. Tannine wirken in hohen Konzentrationen besonders auf die Verdauung (GEBREHIWOT et al. 2002). Nach Abb. 5.5.1 haben Tannine keinen Einfluss auf den enzymatischen Abbau, jedoch ergeben die Varianten der tanninhaltigen Leguminose Hornklee im Kolbenfermentationsprozess die geringsten Biogasausbeuten. Somit ist ein Einfluss der Tannine in erhöhter Konzentration auf die Mikroorganismen und damit den Biogasertrag als wahrscheinlich anzusehen. Es sei darauf hingewiesen, dass auch in Futtermittelbewertungen negative Effekte antibiotisch wirksamer sekundärer Inhaltsstoffe in Futterpflanzen offenbar besser über *in-vitro* Gastests abgebildet werden als über enzymatische Methoden wie das ELOS-Verfahren (OPITZ v. BOBERFELD et al. 2003).

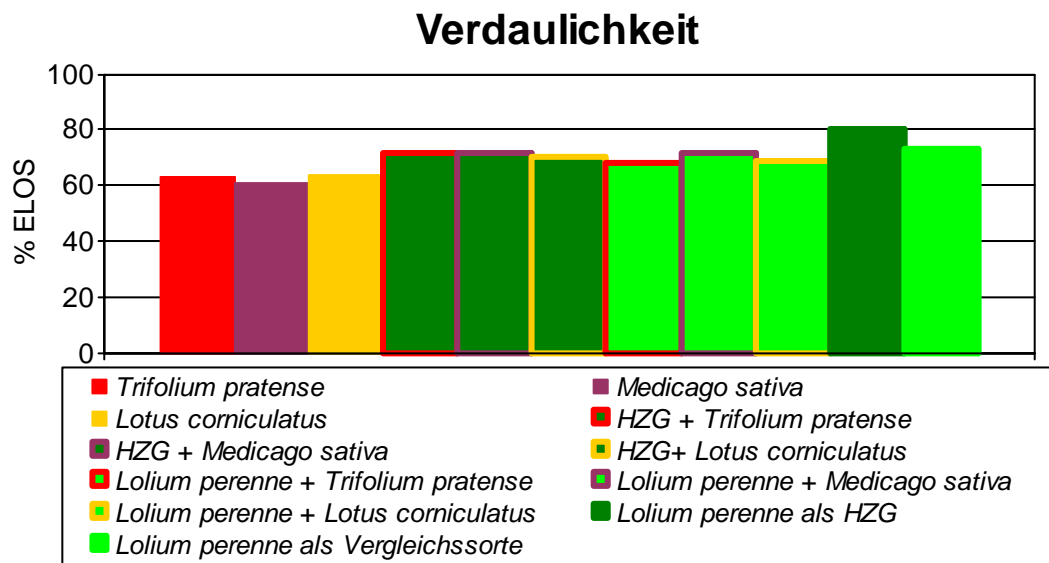


Abb. 5.5.1: Verdaulichkeit der untersuchten Substrate durch das ELOS-Verfahren

6. Zusammenfassung

Durch den wachsenden globalen Energiebedarf kam es in den letzten Jahren zu massiven Energiemais-Anbauflächensteigerungen, deren agronomische und ökologische Nachteile bisher zu wenig Beachtung fanden. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Eignung verschiedener Grünlandaufwüchse für die Verwertung in Biogasanlagen. Es wurden zwei Kolbenfermentationsversuche durchgeführt, die das Gärverhalten ausgewählter Substrate mit real existierenden Mikroorganismenzusammensetzungen erprobten.

Die Versuchssubstrate lieferte ein mehrjähriger Feldversuch auf der Versuchsstation Gladbacherhof. Zur Verfügung standen *Trifolium pratense*, *Medicago sativa*, *Lotus corniculatus*, *Lolium perenne* in einer Hochzuckergrassorte (HZG) und *Lolium perenne* als normale Vergleichssorte. Diese wurden zum einen in Reinsaat und zum anderen in Mischsaat, im Verhältnis 50:50 von Gräsern und Leguminosen, getestet. Neben der Erprobung ausgewählter Substrate zur Biogaseignung sollte eine neue *in-vitro*-Methode zur Schätzung der Biogasproduktion pflanzlicher Substrate in Anlehnung an den Hohenheimer Futterwerttest erprobt werden. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die Methode verfügte über eine gute Wiederholbarkeit, lieferte nachvollziehbare Ergebnisse und war für eine erste Schätzung der Biogaserträge gut geeignet.
2. Die Ergebnisse zeigten einen maßgeblichen Zusammenhang der Gasausbeute mit dem Gehalt wasserlöslicher Kohlenhydrate (wlK). Ein Zusammenhang mit dem Stickstoffgehalt konnte auch gezeigt werden, jedoch geht von den wlK-Gehalten ein erheblich größerer Einfluss aus.
3. Stickstoff wirkte offenbar ab einer gewissen Konzentration (> 2,6 % in der TS) hemmend auf die Gasproduktion.
4. Es bestand ein starker Zusammenhang zwischen den ELOS- und Biogasversuchsergebnissen.
5. Die höchste Biogausausbeute erreichte die HZG Sorte in Reinsaat.
6. Als beste Mischungen stellten sich die der HZG-Sorte mit *Trifolium pratense* bzw. *Medicago sativa* heraus.

-
7. Die Mischungen des HZG ergaben durchweg höhere Gasausbeuten als die der Vergleichsorte.
 8. Der Gasmehrertrag der HZG basierte auf einer deutlich erhöhten Produktion in den ersten drei Tagen. Vermutlich verstoffwechselten Mikroorganismen zuerst die schnell verwertbaren wlk, bevor andere Nährstoffe abgebaut wurden.
 9. Die Gasproduktion aus HZG entsprach nach dem Aufbrauchen des erhöhten wlk-Gehalts dem Niveau der Vergleichssorte.
 10. Leguminosen allein und in den meisten Mischungen waren arm an wlk.
 11. *Lotus corniculatus* stellte sich sowohl in Reinsaat als auch in Mischung als das ungünstigste Substrat heraus.
 12. Lignin ist unverdaulich und senkt die Biogasausbeute, dies war jedoch in diesen Versuchen von untergeordneter Bedeutung.
 13. Es ist sehr wahrscheinlich, dass von Tanninen hemmende Wirkungen auf die Mikroorganismenaktivität ausgegangen sind.

7. Literaturverzeichnis

1. AMON, T., KRYVORUCHKO, V., AMON, B., MOITZI, G., BUGA, S., FISTAROL LYSON, D., HACKL, E., JEREMIC D., ZOLLITSCH W. und E. PÖTSCH 2003: Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Klee gras. Endbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, Wien.
2. AMON, T., KRYVORUCHKO, V., AMON, B., BUGA, S., AMID, A., ZOLLITSCH, W., MAYER, K. und E. PÖTSCH 2004: Biogaserträge aus landwirtschaftlichen Gärgütern. 10. Alpenländisches Expertenforum, BAL Gumpenstein. S.1–6.
3. ANONYMUS, 1997: Methodenbuch Band III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 4. Ergänzungslieferung. Hrsg. u. Verl. VDLUFA, Darmstadt.
4. ANONYMUS, 2003: SPSS für Windows. Version 12.0 SPSS Software, München.
5. BEIMLER, M. und F. EICKMEYER, 2005: BEIMLER, M. und F. EICKMEYER, 2005: Hoch Zucker Gräser – Eine neue Sortengeneration für höchste Ansprüche an die Futterqualität. Referate und Poster zur 49. Jahrestagung AG Grünland und Futterbau, S. 107-110.
6. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2008: Gesetze / Verordnungen. URL: <http://www.umweltministerium.de/gesetze/verordnungen/doc/2676.php> (Stand: 29.9.2008).
7. EDELMANN, W., 2001: Biogaserzeugung und -nutzung. In: KALTSCHMITT, M. und HARTMANN, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse. Springer Verlag, Leipzig.
8. Fachagentur nachwachsende Rohstoffe (FNR), 2008: Hemmstoffe. URL: <http://www.fnr.de/cms35/Hemmstoffe.1665.0.html> (Stand: 29.9.2008).

-
9. GEBREHIWOT, L., BEUSELINCK P. R. und C. A. ROBERTS, 2002: Legumes - Seasonal variations in condensed tannin concentration of three *Lotus* species. Agron. J. 94, S. 1059-1065.
 10. HELFFRICH, D. und H. OECHSNER., 2003: Hohenheimer Biogasertragstest - Vergleich verschiedener Laborverfahren zur Vergärung von Biomasse. In: Agrartechn. Forsch. 9, Heft 3, S. 27-30.
 11. JÄNICKE, H., 2005: Hoch Zuckerreiches Gras auf einem nordostdeutschen Niedermoorstandort – erste Ergebnisse. Referate und Poster zur 49. Jahrestagung AG Grünland und Futterbau, S. 130.
 12. KIRCHGEßNER, M., 1997: Tierernährung, 10. neubearbeitete Auflage, Verlags-Union-Agrar, S. 41.
 13. LASER, H., 1999: Zur Leistung einschließlich Gäreignung von Arten des *Festuco-Cynosuretum* unter variierenden Bedingungen. In: Pflanzenbauwissenschaften, 3 (2), S. 88–93.
 14. OHLY, N., 2006: Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Optimierung der Biogasgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen. Diss. TU Freiberg.
 15. OPITZ V. BOBERFELD, W., THEOBALD, P.C. und H. LASER., 2003: Prediction of digestibility and energy concentration of winter pasture forage and herbage of low-input grassland – a comparision of methods. Arch. Anim. Nutr. 57, 167-176.
 16. PROCHNOW, A., HEIERMANN, M., IDLER, C., LINKE, B., MÄHNERT, P. UND M. PLÖCHL 2007: Biogas vom Grünland: Potenziale und Erträge. In: Gas aus Gras und was noch? Schriftenreihe des Deutschen Grünlandverbandes, Berlin, H. 1/2007, S. 11-22.
 17. RÖSCH, C., RAAB, K., SKARKA, J. UND V. STELZER 2006: Energie aus dem Grünland – eine nachhaltige Entwicklung? Wissenschaftliche Berichte FZKA 7333, Forschungszentrum Karlsruhe.

-
18. Taweel, H.Z., Tas, B.M., Smit, H.J., Elgersma, A., Dijkstra, J. und S. Tamminga 2005: Effects of feeding perennial ryegrass with an elevated concentration of water-soluble carbohydrates on intake, rumen function and performance of dairy cows. – Anim. Feed Sci. Techn. **121** (3-4), S. 243-256
 19. Yemm, E.M. und A.J. Willis, 1954: The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. Biochem. J. 57, S. 85-97.
 20. Zscheischler, J., Estler, M.C., Groß, F., Burkstaller, G., Neumann, H. und B. Geißler, 1984: Handbuch Mais, Anbau – Verwertung – Fütterung. 3. Auflage, DLG-Verlag Frankfurt (Main)

Anhangstabelle 8.1(a): Gesamtdaten zweiter Versuchsdurchlauf der Messtage (ml bzw. ml h⁻¹)

Wdh	Variante	NettoVol 6.6.	7.6. 27h	Bereinigt	Mittelwert	Mittelwert ber.	Mittelwert / h	Mittelwert / h ber.	8.6. 23h	Bereinigt	Mittelwert	Mittelwert ber.	Mittelwert / h	Mittelwert / h ber.
1	101	33	88,5	55,5	56,375	37,875	2,088	1,403	85,5	52,5	52,625	39,125	2,288	1,701
2		35	93,5	58,5					89	54				
3		31	83,5	52,5					82	51				
4		31	90,0	59,0					84	53				
1	102	35	96,0	61,0	55,75	37,250	2,065	1,380	93	58	55	41,5	2,391	1,804
2		33	87,0	54,0					87	54				
3		31	85,0	54,0					85	54				
4		32	86,0	54,0					86	54				
1	103	31	82,0	51,0	51	32,500	1,889	1,204	83	52	51,125	37,625	2,223	1,636
2		33	87,0	54,0					85,5	52,5				
3		30	78,0	48,0					79	49				
4		31	82,0	51,0					82	51				
1	113	33	92,0	59,0	59,25	40,750	2,194	1,509	87	54	55	41,5	2,391	1,804
2		33	94,0	61,0					90	57				
3		32	90,0	58,0					86,5	54,5				
4		32	91,0	59,0					86,5	54,5				
1	114	32	93,0	61,0	59	40,500	2,185	1,500	85	53	53	39,5	2,304	1,717
2		32	90,0	58,0					85	53				
3		32	89,0	57,0					84	52				
4		33	93,0	60,0					87	54				
1	115	36	69,5	33,5	30,125	11,625	1,116	0,431	95	59	52,25	38,75	2,272	1,685
2		31	60,5	29,5					80	49				
3		30	58,5	28,5					80	50				
4		33	62,0	29,0					84	51				
1	116	32	84,5	52,5	50,625	32,125	1,875	1,190	85	53	52,75	39,25	2,293	1,707
2		33	82,0	49,0					85	52				
3		36	87,5	51,5					90	54				
4		31	80,5	49,5					83	52				
1	117	32	92,0	60,0	55,75	37,250	2,065	1,380	84	52	50,625	37,125	2,201	1,614
2		32	87,0	55,0					82,5	50,5				
3		31	84,0	53,0					82	51				
4		33	88,0	55,0					82	49				
1	118	32	61,0	29,0	28,5	10,000	1,056	0,370	80	48	47	33,5	2,043	1,457
2		31	62,0	31,0					81	50				
3		33	59,0	26,0					80	47				
4		31	59,0	28,0					74	43				
1	120	31	90,0	59,0	60,375	41,875	2,236	1,551	79	48	48,5	35	2,109	1,522
2		33	94,0	61,0					83	50				
3		31	93,0	62,0					79	48				
4		31	90,5	59,5					79	48				
1	121	32	87,0	55,0	54,125	35,625	2,005	1,319	77	45	45,375	31,875	1,973	1,386
2		35	86,0	51,0					81	46				
3		32	88,0	56,0					76,5	44,5				
4		30	84,5	54,5					76	46				
Leer 1		30	49,0	19,0	18,5		0,685		44	14	13,5		0,587	
Leer 2		30	48,0	18,0					43	13				
Leer 3		konz	30	68,0					50					
Leer 4		konz	30	66,0					49					

Anhangstabelle 8.1(b): Gesamtdaten zweiter Versuchsdurchlauf der Messtage (ml bzw. ml h⁻¹)

Wdh	Variante	NettoVol 9.6.	9.6. 28h	Bereinigt	Mittelwert	Mittelwert ber.	Mittelwert / h	Mittelwert / h ber.	10.6. 26h	Bereinigt	Mittelwert	Mittelwert ber.	Mittelwert / h	Mittelwert / h ber.
1	101	32	78	46	46	32,5	1,643	1,161	64	32	32,625	20,375	1,255	0,784
2		34	82	48					67	33				
3		30	74	44					62,5	32,5				
4		30	76	46					63	33				
1	102	34	86	52	48,25	34,75	1,723	1,241	65	31	29,125	16,875	1,120	0,649
2		32	79	47					60	28				
3		30,5	77	46,5					59	28,5				
4		31,5	79	47,5					60,5	29				
1	103	31	77	46	46,125	32,625	1,647	1,165	62	31	31	18,75	1,192	0,721
2		32	80	48					63,5	31,5				
3		29	73	44					59	30				
4		30	76,5	46,5					61,5	31,5				
1	113	32	85,5	53,5	54	40,5	1,929	1,446	71	39	38,375	26,125	1,476	1,005
2		33	88	55					74	41				
3		31	84	53					65	34				
4		31,5	86	54,5					71	39,5				
1	114	31	85,5	54,5	54,375	40,875	1,942	1,460	63	32	32,375	20,125	1,245	0,774
2		31	85	54					63,5	32,5				
3		31	84,5	53,5					63	32				
4		31,5	87	55,5					64,5	33				
1	115	35	95	60	51,875	38,375	1,853	1,371	79	44	43,375	31,125	1,668	1,197
2		30	78	48					73	43				
3		29	78	49					73	44				
4		32	82,5	50,5					74,5	42,5				
1	116	31	80,5	49,5	49,375	35,875	1,763	1,281	69	38	38,125	25,875	1,466	0,995
2		32	81	49					70	38				
3		35	86	51					74	39				
4		30	78	48					67,5	37,5				
1	117	31	85	54	53,125	39,625	1,897	1,415	63,5	32,5	31,5	19,25	1,212	0,740
2		31	84	53					62	31				
3		30	82,5	52,5					61	31				
4		30	83	53					61,5	31,5				
1	118	31	81,5	50,5	50,125	36,625	1,790	1,308	76,5	45,5	44,375	32,125	1,707	1,236
2		30	83	53					75	45				
3		31,5	82	50,5					75	43,5				
4		30	76,5	46,5					73,5	43,5				
1	120	30	85	55	55,125	41,625	1,969	1,487	69	39	38,25	26	1,471	1,000
2		32	88	56					69,5	37,5				
3		30	85,5	55,5					69	39				
4		30	84	54					67,5	37,5				
1	121	30,5	82	51,5	52,375	38,875	1,871	1,388	65	34,5	34,5	22,25	1,327	0,856
2		34	87	53					67,5	33,5				
3		30	82	52					64,5	34,5				
4		29	82	53					64,5	35,5				
Leer 1			44	14	13,5		0,482		43	13	12,25		0,471	
Leer 2			43	13					41,5	11,5				
Leer 3		konz	42						40					
Leer 4		konz	41						41					

Anhangstabelle 8.1(c): Gesamtdaten zweiter Versuchsdurchlauf der Messtage (ml bzw. ml h⁻¹)

Wdh	Variante	12.6. 38h	Bereinigt	Mittelwert	Mittelwert ber.	Mittelwert / h	Mittelwert / h ber.	14.6. 48h	Bereinigt	Mittelwert	Mittelwert ber.	Mittelwert / h	Mittelwert / h ber.
1	101	65	33	34,125	19,375	0,898	0,510	71	39	39,5	25,25	0,823	0,526
2		70	36					75	41				
3		63	33					68	38				
4		64,5	34,5					70	40				
1	102	70	36	33,25	18,5	0,875	0,487	75	41	38,5	24,25	0,802	0,505
2		64	32					70	38				
3		63	32,5					68	37,5				
4		64	32,5					69	37,5				
1	103	60,5	29,5	30	15,25	0,789	0,401	68	37	37,5	23,25	0,781	0,484
2		64	32					70,5	38,5				
3		57	28					65	36				
4		60,5	30,5					68,5	38,5				
1	113	73,5	41,5	41,75	27	1,099	0,711	82	50	49,5	35,25	1,031	0,734
2		75	42					83	50				
3		72	41					80,5	49,5				
4		74	42,5					80	48,5				
1	114	70	39	38,125	23,375	1,003	0,615	80,5	49,5	47,875	33,625	0,997	0,701
2		69	38					78,5	47,5				
3		68	37					77	46				
4		70	38,5					80	48,5				
1	115	75	40	37,375	22,625	0,984	0,595	86,5	51,5	44,375	30,125	0,924	0,628
2		66,5	36,5					72,5	42,5				
3		67	38					70,5	41,5				
4		67	35					74	42				
1	116	70	39	39,375	24,625	1,036	0,648	73,5	42,5	43,25	29	0,901	0,604
2		71	39					75	43				
3		76	41					79,5	44,5				
4		68,5	38,5					73	43				
1	117	70,5	39,5	38,25	23,5	1,007	0,618	81	50	48,5	34,25	1,010	0,714
2		69	38					79	48				
3		67	37					78	48				
4		68,5	38,5					78	48				
1	118	67	36	35,875	21,125	0,944	0,556	76	45	44,25	30	0,922	0,625
2		67	37					77	47				
3		67	35,5					75	43,5				
4		65	35					71,5	41,5				
1	120	70	40	40,5	25,75	1,066	0,678	80	50	50,625	36,375	1,055	0,758
2		73	41					82	50				
3		71	41					81,5	51,5				
4		70	40					81	51				
1	121	70,5	40	40,125	25,375	1,056	0,668	81	50,5	49,625	35,375	1,034	0,737
2		73,5	39,5					82	48				
3		70	40					80	50				
4		70	41					79	50				
Leer 1		45,5	15,5	14,75		0,388		45	15	14,25		0,297	
Leer 2		44	14					43,5	13,5				
Leer 3		44						n.n.					
Leer 4		44						51					

Anhangstabelle 8.1(d): Gesamtdaten zweiter Versuchsdurchlauf der Messtage (ml bzw. ml h⁻¹)

Wdh	Variante	NettoVol 16.6.	16.6 58h	Bereinigt	Mittelwert	Mittelwert ber.	Mittelwert / h	Mittelwert / h ber.	19.6. 60h	Bereinigt	Mittelwert	Mittelwert ber.	Mittelwert / h	Mittelwert / h ber.
1	101	31	70,5	39,5	38	25,5	0,655	0,440	54,5	23,5	21	11	0,350	0,183
2		33	72	39					52,5	19,5				
3		30	66	36					51,5	21,5				
4		30	67,5	37,5					49,5	19,5				
1	102	34	72	38	36,875	24,375	0,636	0,420	60	26	22,875	12,875	0,381	0,215
2		31,5	69	37,5					55	23,5				
3		30	66	36					50	20				
4		31	67	36					53	22				
1	103	30	67,5	37,5	38,75	26,25	0,668	0,453	56	26	26,625	16,625	0,444	0,277
2		32	71	39					59	27				
3		28,5	67	38,5					57	28,5				
4		29	69	40					54	25				
1	113	30	73	43	43,375	30,875	0,748	0,532	52	22	23	13	0,383	0,217
2		32	75	43					55	23				
3		30	75	45					55	25				
4		31	73,5	42,5					53	22				
1	114	30	80	50	49,125	36,625	0,847	0,631	63	33	32,375	22,375	0,540	0,373
2		30	80	50					63	33				
3		30	77	47					62,5	32,5				
4		31	80,5	49,5					62	31				
1	115	34,5	82,5	48	50	37,5	0,862	0,647	62,5	28	34,25	24,25	0,571	0,404
2		29	79,5	50,5					68	39				
3		29	81	52					69	40				
4		30	79,5	49,5					60	30				
1	116	30	68	38	38,25	25,75	0,659	0,444	49	19	19	9	0,317	0,150
2		31	70	39					50,5	19,5				
3		34,5	73	38,5					54	19,5				
4		29	66,5	37,5					47	18				
1	117	30	81	51	50,25	37,75	0,866	0,651	60,5	30,5	32,25	22,25	0,538	0,371
2		30	80	50					60	30				
3		29	80	51					63,5	34,5				
4		29	78	49					63	34				
1	118	30	85	55	53,625	41,125	0,925	0,709	71	41	39,875	29,875	0,665	0,498
2		30	83	53					67,5	37,5				
3		31	85	54					71	40				
4		29	81,5	52,5					70	41				
1	120	29	79,5	50,5	51,625	39,125	0,890	0,675	65	36	35,125	25,125	0,585	0,419
2		26,5	81	54,5					65	38,5				
3		29	80	51					62	33				
4		28	78,5	50,5					61	33				
1	121	30	79,5	49,5	50	37,5	0,862	0,647	65,5	35,5	35,25	25,25	0,588	0,421
2		32	85	53					70	38				
3		29,5	80	50,5					65	35,5				
4		29	76	47					61	32				
Leer 1		30	43	13	12,5		0,216		40	10	10		0,167	
Leer 2		29	41	12					39	10				
Leer 3		26	50						48					
Leer 4		30	57						55					

Anhangstabelle 8.1(e): Gesamtdaten zweiter Versuchsdurchlauf der Messtage (ml bzw. ml h⁻¹)

Anhangstabelle 8.2: Vorbereitung Versuchsdurchlauf

Wdh	Variante	27.6. 194h	Bereinigt	Mittelwert	Mittelwert ber.	Mittelwert / h	Mittelwert / h ber.
1	101	59	28	28,833	2,333	0,149	0,012
2		62,5	29,5				
3		59	29				
4		39 offen	9				
1	102	66	32	33,500	7,000	0,173	0,036
2		65,5	34				
3		63	33				
4		66	35				
1	103	60,5	30,5	30,125	3,625	0,155	0,019
2		63	31				
3		57	28,5				
4		59,5	30,5				
1	113	66,5	36,5	31,875	5,375	0,164	0,028
2		66	34				
3		58	28				
4		60	29				
1	114	59	29	31,250	4,750	0,161	0,024
2		67	37				
3		60	30				
4		60	29				
1	115	69	34,5	31,000	4,500	0,160	0,023
2		61	32				
3		60,5	31,5				
4		56	26				
1	116	59	29	29,625	3,125	0,153	0,016
2		55	24				
3		68	33,5				
4		61	32				
1	117	61	31	28,125	1,625	0,145	0,008
2		50,5	20,5				
3		59	30				
4		60	31				
1	118	63	33	32,250	5,750	0,166	0,030
2		60	30				
3		63	32				
4		63	34				
1	120	58	29	31,167	4,667	0,161	0,024
2		63	36,5				
3		57	28				
4		47 offen	19				
1	121	61	31	32,500	6,000	0,168	0,031
2		68	36				
3		62	32,5				
4		59,5	30,5				
Leer 1		57	27	26,500		0,137	
Leer 2		55	26				
Leer 3	konz	63					
Leer 4	konz	74					

Wdh	Variante	Gewicht [g]	EinfüllNr
1	101	0.5001	38
2		0.5000	30
3		0.5000	46
4		0.4999	11
1	102	0.5000	12
2		0.5000	34
3		0.5000	32
4		0.5001	29
1	103	0.5000	21
2		0.5000	24
3		0.5001	41
4		0.5001	9
1	113	0.5000	2
2		0.5001	23
3		0.5001	13
4		0.5001	22
1	114	0.4999	8
2		0.5001	33
3		0.4999	40
4		0.5000	28
1	115	0.5001	19
2		0.4999	4
3		0.5000	18
4		0.5000	17
1	116	0.4999	25
2		0.5000	44
3		0.5000	39
4		0.5000	15
1	117	0.4999	3
2		0.5000	37
3		0.5000	36
4		0.5001	27
1	118	0.5001	5
2		0.5000	14
3		0.4999	43
4		0.4999	20
1	120	0.5000	35
2		0.5001	31
3		0.4999	16
4		0.5000	45
1	121	0.5000	10
2		0.5000	42
3		0.5000	1
4		0.5001	6
Leer 1			7
Leer 2			26
Leer 3	konz		
Leer 4	konz		

Anhangstabelle 8.3: Summe bereinigter Mittelwerte pro Stunde der 9 Messtage

Substrat	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Trifolium pratense	1,402777778	3,103864734	4,26457902	5,048232866	5,558101287	6,084142954	6,523798126	6,70713146	6,719158951
Medicago sativa	1,37962963	3,183977456	4,425048884	5,074087346	5,560929451	6,066137784	6,486396405	6,700979738	6,737062213
Lotus corniculatus	1,203703704	2,839573269	4,00475184	4,725905687	5,127221476	5,611596476	6,064182683	6,341266016	6,359951583
HZG+Trifolium prat.	1,509259259	3,313607085	4,760035657	5,764843349	6,475369665	7,209744665	7,742072251	7,958738918	7,986445103
HZG+Medicago sat.	1,5	3,217391304	4,677212733	5,451251194	6,066382773	6,766903607	7,398369124	7,771285791	7,795770327
HZG+Lotus corn.	0,430555556	2,115338164	3,485873879	4,682989263	5,278384	5,905988167	6,552539891	6,956706557	6,979902434
Lolium p.+Trifolium prat.	1,189814815	2,896336554	4,177586554	5,172778862	5,820805177	6,424971844	6,868937361	7,018937361	7,035045609
Lolium p.+Medicago sat.	1,37962963	2,993760064	4,408938636	5,149323251	5,767744304	6,481285971	7,132148039	7,502981373	7,511357661
Lolium p.+Lotus corn.	0,37037037	1,82689211	3,134927824	4,370504747	4,926425799	5,551425799	6,260477524	6,75839419	6,788033366
HZG	1,550925926	3,072665056	4,559272199	5,559272199	6,236903778	6,994716278	7,669285244	8,088035244	8,112090227
Lolium perenne	1,319444444	2,70531401	4,093706867	4,949476098	5,617239255	6,354218422	7,000770146	7,42160348	7,452531315

Anhangstabelle 8.4: Summe bereinigter Mittelwerte der 9 Messtage

Substrat	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Trifolium pratense	37,875	77	109,5	129,875	149,25	174,5	200	211	213,3333333
Medicago sativa	37,25	78,75	113,5	130,375	148,875	173,125	197,5	210,375	217,375
Lotus corniculatus	32,5	70,125	102,75	121,5	136,75	160	186,25	202,875	206,5
HZG+Trifolium prat.	40,75	82,25	122,75	148,875	175,875	211,125	242	255	260,375
HZG+Medicago sat.	40,5	80	120,875	141	164,375	198	234,625	257	261,75
HZG+Lotus corn.	11,625	50,375	88,75	119,875	142,5	172,625	210,125	234,375	238,875
Lolium p.+Trifolium prat.	32,125	71,375	107,25	133,125	157,75	186,75	212,5	221,5	224,625
Lolium p.+Medicago sat.	37,25	74,375	114	133,25	156,75	191	228,75	251	252,625
Lolium p.+Lotus corn.	10	43,5	80,125	112,25	133,375	163,375	204,5	234,375	240,125
HZG	41,875	76,875	118,5	144,5	170,25	206,625	245,75	270,875	275,5416667
Lolium perenne	35,625	67,5	106,375	128,625	154	189,375	226,875	252,125	258,125

Anhangstabelle 8.5: Korrelationen

		Korrelationen				
		Gesamtgas	N	C_N	wKFrish	ELOS frisch
Gesamtgas	Korrelation nach Pearson	1	-,643(*)	,627(*)	,903(**)	,850(**)
	Signifikanz (2-seitig)		,033	,039	,000	,001
	N	11	11	11	11	11
N	Korrelation nach Pearson	-,643(*)	1	-,985(**)	-,740(**)	-,384
	Signifikanz (2-seitig)	,033		,000	,009	,243
	N	11	11	11	11	11
C_N	Korrelation nach Pearson	,627(*)	-,985(**)	1	,753(**)	,372
	Signifikanz (2-seitig)	,039	,000		,008	,260
	N	11	11	11	11	11
wKFrish	Korrelation nach Pearson	,903(**)	-,740(**)	,753(**)	1	,769(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,009	,008		,006
	N	11	11	11	11	11
ELOS frisch	Korrelation nach Pearson	,850(**)	-,384	,372	,769(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	,001	,243	,260	,006	
	N	11	11	11	11	11

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Anhangstabelle 8.6: Oneway Anova

		ONEWAY ANOVA				
		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
T1	Zwischen den Gruppen	4948,636	10	494,864	95,500	,000
	Innerhalb der Gruppen	171,000	33	5,182		
	Gesamt	5119,636	43			
T 2	Zwischen den Gruppen	386,045	10	38,605	9,647	,000
	Innerhalb der Gruppen	132,063	33	4,002		
	Gesamt	518,108	43			
T 3	Zwischen den Gruppen	417,227	10	41,723	8,460	,000
	Innerhalb der Gruppen	162,750	33	4,932		
	Gesamt	579,977	43			
T 4	Zwischen den Gruppen	1037,352	10	103,735	72,259	,000
	Innerhalb der Gruppen	47,375	33	1,436		
	Gesamt	1084,727	43			
T 6	Zwischen den Gruppen	505,102	10	50,510	31,339	,000
	Innerhalb der Gruppen	53,188	33	1,612		
	Gesamt	558,290	43			
T 8	Zwischen den Gruppen	912,684	10	91,268	24,909	,000
	Innerhalb der Gruppen	120,917	33	3,664		
	Gesamt	1033,601	43			
T 10	Zwischen den Gruppen	1642,097	10	164,210	78,134	,000
	Innerhalb der Gruppen	69,354	33	2,102		
	Gesamt	1711,451	43			
T 13	Zwischen den Gruppen	1915,511	10	191,551	28,643	,000
	Innerhalb der Gruppen	220,688	33	6,688		
	Gesamt	2136,199	43			
T 21	Zwischen den Gruppen	105,934	10	10,593	1,017	,450
	Innerhalb der Gruppen	343,583	33	10,412		
	Gesamt	449,518	43			
Summe	Zwischen den Gruppen	21024,949	10	2102,495	19,687	,000
	Innerhalb der Gruppen	3524,250	33	106,795		
	Gesamt	24549,199	43			

Anhangstabelle 8.7: Ausschnitt Varianzanalyse

Mehrfachvergleiche

LSD								
Abhängig e	Variable	(I) Variante	(J) Variante	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfeh ler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze	Untergrenze	Obergrenze	Untergrenze
T1	101	102	103	-,2500	1,6096	,878	-3,525	3,025
			103	4,5000(*)	1,6096	,009	1,225	7,775
			113	-3,7500(*)	1,6096	,026	-7,025	-,475
			114	-3,5000(*)	1,6096	,037	-6,775	-,225
			115	25,3750(*)	1,6096	,000	22,100	28,650
			116	4,8750(*)	1,6096	,005	1,600	8,150
			117	-,2500	1,6096	,878	-3,525	3,025
			118	27,0000(*)	1,6096	,000	23,725	30,275
			120	-4,8750(*)	1,6096	,005	-8,150	-1,600
			121	1,3750	1,6096	,399	-1,900	4,650
	102	101	103	,2500	1,6096	,878	-3,025	3,525
			103	4,7500(*)	1,6096	,006	1,475	8,025
			113	-3,5000(*)	1,6096	,037	-6,775	-,225
			114	-3,2500	1,6096	,052	-6,525	,025
			115	25,6250(*)	1,6096	,000	22,350	28,900
			116	5,1250(*)	1,6096	,003	1,850	8,400
			117	,0000	1,6096	1,000	-3,275	3,275
			118	27,2500(*)	1,6096	,000	23,975	30,525
			120	-4,6250(*)	1,6096	,007	-7,900	-1,350
			121	1,6250	1,6096	,320	-1,650	4,900
	103	101	102	-4,5000(*)	1,6096	,009	-7,775	-1,225
			102	-4,7500(*)	1,6096	,006	-8,025	-1,475
			113	-8,2500(*)	1,6096	,000	-11,525	-4,975
			114	-8,0000(*)	1,6096	,000	-11,275	-4,725
			115	20,8750(*)	1,6096	,000	17,600	24,150
			116	,3750	1,6096	,817	-2,900	3,650
			117	-4,7500(*)	1,6096	,006	-8,025	-1,475
			118	22,5000(*)	1,6096	,000	19,225	25,775
			120	-9,3750(*)	1,6096	,000	-12,650	-6,100
			121	-3,1250	1,6096	,061	-6,400	,150
	113	101	102	3,7500(*)	1,6096	,026	,475	7,025
			102	3,5000(*)	1,6096	,037	,225	6,775
			103	8,2500(*)	1,6096	,000	4,975	11,525
			114	,2500	1,6096	,878	-3,025	3,525
			115	29,1250(*)	1,6096	,000	25,850	32,400
			116	8,6250(*)	1,6096	,000	5,350	11,900
			117	3,5000(*)	1,6096	,037	,225	6,775
			118	30,7500(*)	1,6096	,000	27,475	34,025
			120	-1,1250	1,6096	,490	-4,400	2,150
			121	5,1250(*)	1,6096	,003	1,850	8,400
	114	101	102	3,5000(*)	1,6096	,037	,225	6,775
			102	3,2500	1,6096	,052	-,025	6,525
			103	8,0000(*)	1,6096	,000	4,725	11,275
			113	-,2500	1,6096	,878	-3,525	3,025
			115	28,8750(*)	1,6096	,000	25,600	32,150
			116	8,3750(*)	1,6096	,000	5,100	11,650
			117	3,2500	1,6096	,052	-,025	6,525
			118	30,5000(*)	1,6096	,000	27,225	33,775
			120	-1,3750	1,6096	,399	-4,650	1,900

115	121	4,8750(*)	1,6096	,005	1,600	8,150
	101	-25,3750(*)	1,6096	,000	-28,650	-22,100
	102	-25,6250(*)	1,6096	,000	-28,900	-22,350
	103	-20,8750(*)	1,6096	,000	-24,150	-17,600
	113	-29,1250(*)	1,6096	,000	-32,400	-25,850
	114	-28,8750(*)	1,6096	,000	-32,150	-25,600
	116	-20,5000(*)	1,6096	,000	-23,775	-17,225
	117	-25,6250(*)	1,6096	,000	-28,900	-22,350
	118	1,6250	1,6096	,320	-1,650	4,900
	120	-30,2500(*)	1,6096	,000	-33,525	-26,975
116	121	-24,0000(*)	1,6096	,000	-27,275	-20,725
	101	-4,8750(*)	1,6096	,005	-8,150	-1,600
	102	-5,1250(*)	1,6096	,003	-8,400	-1,850
	103	-,3750	1,6096	,817	-3,650	2,900
	113	-8,6250(*)	1,6096	,000	-11,900	-5,350
	114	-8,3750(*)	1,6096	,000	-11,650	-5,100
	115	20,5000(*)	1,6096	,000	17,225	23,775
	117	-5,1250(*)	1,6096	,003	-8,400	-1,850
	118	22,1250(*)	1,6096	,000	18,850	25,400
	120	-9,7500(*)	1,6096	,000	-13,025	-6,475
117	121	-3,5000(*)	1,6096	,037	-6,775	-,225
	101	,2500	1,6096	,878	-3,025	3,525
	102	,0000	1,6096	1,000	-3,275	3,275
	103	4,7500(*)	1,6096	,006	1,475	8,025
	113	-3,5000(*)	1,6096	,037	-6,775	-,225
	114	-3,2500	1,6096	,052	-6,525	,025
	115	25,6250(*)	1,6096	,000	22,350	28,900
	116	5,1250(*)	1,6096	,003	1,850	8,400
	118	27,2500(*)	1,6096	,000	23,975	30,525
	120	-4,6250(*)	1,6096	,007	-7,900	-1,350
118	121	1,6250	1,6096	,320	-1,650	4,900
	101	-27,0000(*)	1,6096	,000	-30,275	-23,725
	102	-27,2500(*)	1,6096	,000	-30,525	-23,975
	103	-22,5000(*)	1,6096	,000	-25,775	-19,225
	113	-30,7500(*)	1,6096	,000	-34,025	-27,475
	114	-30,5000(*)	1,6096	,000	-33,775	-27,225
	115	-1,6250	1,6096	,320	-4,900	1,650
	116	-22,1250(*)	1,6096	,000	-25,400	-18,850
	117	-27,2500(*)	1,6096	,000	-30,525	-23,975
	120	-31,8750(*)	1,6096	,000	-35,150	-28,600
120	121	-25,6250(*)	1,6096	,000	-28,900	-22,350
	101	4,8750(*)	1,6096	,005	1,600	8,150
	102	4,6250(*)	1,6096	,007	1,350	7,900
	103	9,3750(*)	1,6096	,000	6,100	12,650
	113	1,1250	1,6096	,490	-2,150	4,400
	114	1,3750	1,6096	,399	-1,900	4,650
	115	30,2500(*)	1,6096	,000	26,975	33,525
	116	9,7500(*)	1,6096	,000	6,475	13,025
	117	4,6250(*)	1,6096	,007	1,350	7,900
	118	31,8750(*)	1,6096	,000	28,600	35,150
121	121	6,2500(*)	1,6096	,000	2,975	9,525
	101	-1,3750	1,6096	,399	-4,650	1,900
	102	-1,6250	1,6096	,320	-4,900	1,650
	103	3,1250	1,6096	,061	-,150	6,400
	113	-5,1250(*)	1,6096	,003	-8,400	-1,850
	114	-4,8750(*)	1,6096	,005	-8,150	-1,600
	115	24,0000(*)	1,6096	,000	20,725	27,275
	116	3,5000(*)	1,6096	,037	,225	6,775
	117	-1,6250	1,6096	,320	-4,900	1,650

		118	25,6250(*)	1,6096	,000	22,350	28,900
		120	-6,2500(*)	1,6096	,000	-9,525	-2,975
T 2	101	102	-2,5000	1,4145	,086	-5,378	,378
		103	1,3750	1,4145	,338	-1,503	4,253
		113	-2,5000	1,4145	,086	-5,378	,378
		114	-,5000	1,4145	,726	-3,378	2,378
		115	,2500	1,4145	,861	-2,628	3,128
		116	-,2500	1,4145	,861	-3,128	2,628
		117	1,8750	1,4145	,194	-1,003	4,753
		118	5,5000(*)	1,4145	,000	2,622	8,378
		120	4,0000(*)	1,4145	,008	1,122	6,878
		121	7,1250(*)	1,4145	,000	4,247	10,003
	102	101	2,5000	1,4145	,086	-,378	5,378
		103	3,8750(*)	1,4145	,010	,997	6,753
		113	,0000	1,4145	1,000	-2,878	2,878
		114	2,0000	1,4145	,167	-,878	4,878
		115	2,7500	1,4145	,060	-,128	5,628
		116	2,2500	1,4145	,121	-,628	5,128
		117	4,3750(*)	1,4145	,004	1,497	7,253
		118	8,0000(*)	1,4145	,000	5,122	10,878
		120	6,5000(*)	1,4145	,000	3,622	9,378
		121	9,6250(*)	1,4145	,000	6,747	12,503
	103	101	-1,3750	1,4145	,338	-4,253	1,503
		102	-3,8750(*)	1,4145	,010	-6,753	-,997
		113	-3,8750(*)	1,4145	,010	-6,753	-,997
		114	-1,8750	1,4145	,194	-4,753	1,003
		115	-1,1250	1,4145	,432	-4,003	1,753
		116	-1,6250	1,4145	,259	-4,503	1,253
		117	,5000	1,4145	,726	-2,378	3,378
		118	4,1250(*)	1,4145	,006	1,247	7,003
		120	2,6250	1,4145	,072	-,253	5,503
		121	5,7500(*)	1,4145	,000	2,872	8,628
	113	101	2,5000	1,4145	,086	-,378	5,378
		102	,0000	1,4145	1,000	-2,878	2,878
		103	3,8750(*)	1,4145	,010	,997	6,753
		114	2,0000	1,4145	,167	-,878	4,878
		115	2,7500	1,4145	,060	-,128	5,628
		116	2,2500	1,4145	,121	-,628	5,128
		117	4,3750(*)	1,4145	,004	1,497	7,253
		118	8,0000(*)	1,4145	,000	5,122	10,878
		120	6,5000(*)	1,4145	,000	3,622	9,378
		121	9,6250(*)	1,4145	,000	6,747	12,503
	114	101	,5000	1,4145	,726	-2,378	3,378
		102	-2,0000	1,4145	,167	-4,878	,878
		103	1,8750	1,4145	,194	-1,003	4,753
		113	-2,0000	1,4145	,167	-4,878	,878
		115	,7500	1,4145	,600	-2,128	3,628
		116	,2500	1,4145	,861	-2,628	3,128
		117	2,3750	1,4145	,103	-,503	5,253
		118	6,0000(*)	1,4145	,000	3,122	8,878
		120	4,5000(*)	1,4145	,003	1,622	7,378
		121	7,6250(*)	1,4145	,000	4,747	10,503
	115	101	-,2500	1,4145	,861	-3,128	2,628
		102	-2,7500	1,4145	,060	-5,628	,128
		103	1,1250	1,4145	,432	-1,753	4,003
		113	-2,7500	1,4145	,060	-5,628	,128
		114	-,7500	1,4145	,600	-3,628	2,128
		116	-,5000	1,4145	,726	-3,378	2,378
		117	1,6250	1,4145	,259	-1,253	4,503

	116	118	5,2500(*)	1,4145	,001	2,372	8,128
		120	3,7500(*)	1,4145	,012	,872	6,628
		121	6,8750(*)	1,4145	,000	3,997	9,753
		101	,2500	1,4145	,861	-2,628	3,128
		102	-2,2500	1,4145	,121	-5,128	,628
		103	1,6250	1,4145	,259	-1,253	4,503
		113	-2,2500	1,4145	,121	-5,128	,628
		114	-,2500	1,4145	,861	-3,128	2,628
		115	,5000	1,4145	,726	-2,378	3,378
		117	2,1250	1,4145	,143	-,753	5,003
		118	5,7500(*)	1,4145	,000	2,872	8,628
		120	4,2500(*)	1,4145	,005	1,372	7,128
	117	121	7,3750(*)	1,4145	,000	4,497	10,253
		101	-1,8750	1,4145	,194	-4,753	1,003
		102	-4,3750(*)	1,4145	,004	-7,253	-1,497
		103	-,5000	1,4145	,726	-3,378	2,378
		113	-4,3750(*)	1,4145	,004	-7,253	-1,497
		114	-2,3750	1,4145	,103	-5,253	,503
		115	-1,6250	1,4145	,259	-4,503	1,253
		116	-2,1250	1,4145	,143	-5,003	,753
		118	3,6250(*)	1,4145	,015	,747	6,503
		120	2,1250	1,4145	,143	-,753	5,003
		121	5,2500(*)	1,4145	,001	2,372	8,128
	118	101	-5,5000(*)	1,4145	,000	-8,378	-2,622
		102	-8,0000(*)	1,4145	,000	-10,878	-5,122
		103	-4,1250(*)	1,4145	,006	-7,003	-1,247
		113	-8,0000(*)	1,4145	,000	-10,878	-5,122
		114	-6,0000(*)	1,4145	,000	-8,878	-3,122
		115	-5,2500(*)	1,4145	,001	-8,128	-2,372
		116	-5,7500(*)	1,4145	,000	-8,628	-2,872
		117	-3,6250(*)	1,4145	,015	-6,503	-,747
		120	-1,5000	1,4145	,297	-4,378	1,378
		121	1,6250	1,4145	,259	-1,253	4,503
	120	101	-4,0000(*)	1,4145	,008	-6,878	-1,122
		102	-6,5000(*)	1,4145	,000	-9,378	-3,622
		103	-2,6250	1,4145	,072	-5,503	,253
		113	-6,5000(*)	1,4145	,000	-9,378	-3,622
		114	-4,5000(*)	1,4145	,003	-7,378	-1,622
		115	-3,7500(*)	1,4145	,012	-6,628	-,872
		116	-4,2500(*)	1,4145	,005	-7,128	-1,372
		117	-2,1250	1,4145	,143	-5,003	,753
		118	1,5000	1,4145	,297	-1,378	4,378
		121	3,1250(*)	1,4145	,034	,247	6,003
	121	101	-7,1250(*)	1,4145	,000	-10,003	-4,247
		102	-9,6250(*)	1,4145	,000	-12,503	-6,747
		103	-5,7500(*)	1,4145	,000	-8,628	-2,872
		113	-9,6250(*)	1,4145	,000	-12,503	-6,747
		114	-7,6250(*)	1,4145	,000	-10,503	-4,747
		115	-6,8750(*)	1,4145	,000	-9,753	-3,997
		116	-7,3750(*)	1,4145	,000	-10,253	-4,497
		117	-5,2500(*)	1,4145	,001	-8,128	-2,372
		118	-1,6250	1,4145	,259	-4,503	1,253
		120	-3,1250(*)	1,4145	,034	-6,003	-,247
T 3	101	102	-2,250	1,570	,161	-5,44	,94
		103	-,125	1,570	,937	-3,32	3,07
		113	-8,000(*)	1,570	,000	-11,19	-4,81
		114	-8,375(*)	1,570	,000	-11,57	-5,18
		115	-5,875(*)	1,570	,001	-9,07	-2,68
		116	-3,375(*)	1,570	,039	-6,57	-,18

102	117	-7,125(*)	1,570	,000	-10,32	-3,93
	118	-4,125(*)	1,570	,013	-7,32	-,93
	120	-9,125(*)	1,570	,000	-12,32	-5,93
	121	-6,375(*)	1,570	,000	-9,57	-3,18
	101	2,250	1,570	,161	-,94	5,44
	103	2,125	1,570	,185	-1,07	5,32
	113	-5,750(*)	1,570	,001	-8,94	-2,56
	114	-6,125(*)	1,570	,000	-9,32	-2,93
	115	-3,625(*)	1,570	,027	-6,82	-,43
	116	-1,125	1,570	,479	-4,32	2,07
103	117	-4,875(*)	1,570	,004	-8,07	-1,68
	118	-1,875	1,570	,241	-5,07	1,32
	120	-6,875(*)	1,570	,000	-10,07	-3,68
	121	-4,125(*)	1,570	,013	-7,32	-,93
	101	,125	1,570	,937	-3,07	3,32
	102	-2,125	1,570	,185	-5,32	1,07
	113	-7,875(*)	1,570	,000	-11,07	-4,68
	114	-8,250(*)	1,570	,000	-11,44	-5,06
	115	-5,750(*)	1,570	,001	-8,94	-2,56
	116	-3,250(*)	1,570	,046	-6,44	-,06
113	117	-7,000(*)	1,570	,000	-10,19	-3,81
	118	-4,000(*)	1,570	,016	-7,19	-,81
	120	-9,000(*)	1,570	,000	-12,19	-5,81
	121	-6,250(*)	1,570	,000	-9,44	-3,06
	101	8,000(*)	1,570	,000	4,81	11,19
	102	5,750(*)	1,570	,001	2,56	8,94
	103	7,875(*)	1,570	,000	4,68	11,07
	114	-,375	1,570	,813	-3,57	2,82
	115	2,125	1,570	,185	-1,07	5,32
	116	4,625(*)	1,570	,006	1,43	7,82
114	117	,875	1,570	,581	-2,32	4,07
	118	3,875(*)	1,570	,019	,68	7,07
	120	-1,125	1,570	,479	-4,32	2,07
	121	1,625	1,570	,308	-1,57	4,82
	101	8,375(*)	1,570	,000	5,18	11,57
	102	6,125(*)	1,570	,000	2,93	9,32
	103	8,250(*)	1,570	,000	5,06	11,44
	113	,375	1,570	,813	-2,82	3,57
	115	2,500	1,570	,121	-,69	5,69
	116	5,000(*)	1,570	,003	1,81	8,19
115	117	1,250	1,570	,432	-1,94	4,44
	118	4,250(*)	1,570	,011	1,06	7,44
	120	-,750	1,570	,636	-3,94	2,44
	121	2,000	1,570	,212	-1,19	5,19
	101	5,875(*)	1,570	,001	2,68	9,07
	102	3,625(*)	1,570	,027	,43	6,82
	103	5,750(*)	1,570	,001	2,56	8,94
	113	-2,125	1,570	,185	-5,32	1,07
	114	-2,500	1,570	,121	-5,69	,69
	116	2,500	1,570	,121	-,69	5,69
116	117	-1,250	1,570	,432	-4,44	1,94
	118	1,750	1,570	,273	-1,44	4,94
	120	-3,250(*)	1,570	,046	-6,44	-,06
	121	-,500	1,570	,752	-3,69	2,69
	101	3,375(*)	1,570	,039	,18	6,57
	102	1,125	1,570	,479	-2,07	4,32
	103	3,250(*)	1,570	,046	,06	6,44
	113	-4,625(*)	1,570	,006	-7,82	-1,43
	114	-5,000(*)	1,570	,003	-8,19	-1,81

	117	115	-2,500	1,570	,121	-5,69	,69
		117	-3,750(*)	1,570	,023	-6,94	-,56
		118	-,750	1,570	,636	-3,94	2,44
		120	-5,750(*)	1,570	,001	-8,94	-2,56
		121	-3,000	1,570	,065	-6,19	,19
		101	7,125(*)	1,570	,000	3,93	10,32
		102	4,875(*)	1,570	,004	1,68	8,07
		103	7,000(*)	1,570	,000	3,81	10,19
		113	-,875	1,570	,581	-4,07	2,32
		114	-1,250	1,570	,432	-4,44	1,94
		115	1,250	1,570	,432	-1,94	4,44
		116	3,750(*)	1,570	,023	,56	6,94
	118	118	3,000	1,570	,065	-,19	6,19
		120	-2,000	1,570	,212	-5,19	1,19
		121	,750	1,570	,636	-2,44	3,94
		101	4,125(*)	1,570	,013	,93	7,32
		102	1,875	1,570	,241	-1,32	5,07
		103	4,000(*)	1,570	,016	,81	7,19
		113	-3,875(*)	1,570	,019	-7,07	-,68
		114	-4,250(*)	1,570	,011	-7,44	-1,06
		115	-1,750	1,570	,273	-4,94	1,44
		116	,750	1,570	,636	-2,44	3,94
		117	-3,000	1,570	,065	-6,19	,19
		120	-5,000(*)	1,570	,003	-8,19	-1,81
	120	121	-2,250	1,570	,161	-5,44	,94
		101	9,125(*)	1,570	,000	5,93	12,32
		102	6,875(*)	1,570	,000	3,68	10,07
		103	9,000(*)	1,570	,000	5,81	12,19
		113	1,125	1,570	,479	-2,07	4,32
		114	,750	1,570	,636	-2,44	3,94
		115	3,250(*)	1,570	,046	,06	6,44
		116	5,750(*)	1,570	,001	2,56	8,94
		117	2,000	1,570	,212	-1,19	5,19
		118	5,000(*)	1,570	,003	1,81	8,19
		121	2,750	1,570	,089	-,44	5,94
	121	101	6,375(*)	1,570	,000	3,18	9,57
		102	4,125(*)	1,570	,013	,93	7,32
		103	6,250(*)	1,570	,000	3,06	9,44
		113	-1,625	1,570	,308	-4,82	1,57
		114	-2,000	1,570	,212	-5,19	1,19
		115	,500	1,570	,752	-2,69	3,69
		116	3,000	1,570	,065	-,19	6,19
		117	-,750	1,570	,636	-3,94	2,44
		118	2,250	1,570	,161	-,94	5,44
		120	-2,750	1,570	,089	-5,94	,44
T 4	101	102	3,375(*)	,847	,000	1,65	5,10
		103	1,500	,847	,086	-,22	3,22
		113	-5,875(*)	,847	,000	-7,60	-4,15
		114	,125	,847	,884	-1,60	1,85
		115	-10,875(*)	,847	,000	-12,60	-9,15
		116	-5,625(*)	,847	,000	-7,35	-3,90
		117	1,000	,847	,246	-,72	2,72
		118	-11,875(*)	,847	,000	-13,60	-10,15
		120	-5,750(*)	,847	,000	-7,47	-4,03
		121	-2,000(*)	,847	,024	-3,72	-,28
	102	101	-3,375(*)	,847	,000	-5,10	-1,65
		103	-1,875(*)	,847	,034	-3,60	-,15
		113	-9,250(*)	,847	,000	-10,97	-7,53
		114	-3,250(*)	,847	,001	-4,97	-1,53

103	115	-14,250(*)	,847	,000	-15,97	-12,53
	116	-9,000(*)	,847	,000	-10,72	-7,28
	117	-2,375(*)	,847	,008	-4,10	-,65
	118	-15,250(*)	,847	,000	-16,97	-13,53
	120	-9,125(*)	,847	,000	-10,85	-7,40
	121	-5,375(*)	,847	,000	-7,10	-3,65
	101	-1,500	,847	,086	-3,22	,22
	102	1,875(*)	,847	,034	,15	3,60
	113	-7,375(*)	,847	,000	-9,10	-5,65
	114	-1,375	,847	,114	-3,10	,35
	115	-12,375(*)	,847	,000	-14,10	-10,65
	116	-7,125(*)	,847	,000	-8,85	-5,40
	117	-,500	,847	,559	-2,22	1,22
	118	-13,375(*)	,847	,000	-15,10	-11,65
	120	-7,250(*)	,847	,000	-8,97	-5,53
	121	-3,500(*)	,847	,000	-5,22	-1,78
	101	5,875(*)	,847	,000	4,15	7,60
	102	9,250(*)	,847	,000	7,53	10,97
	103	7,375(*)	,847	,000	5,65	9,10
	114	6,000(*)	,847	,000	4,28	7,72
113	115	-5,000(*)	,847	,000	-6,72	-3,28
	116	,250	,847	,770	-1,47	1,97
	117	6,875(*)	,847	,000	5,15	8,60
	118	-6,000(*)	,847	,000	-7,72	-4,28
	120	,125	,847	,884	-1,60	1,85
	121	3,875(*)	,847	,000	2,15	5,60
	101	-,125	,847	,884	-1,85	1,60
	102	3,250(*)	,847	,001	1,53	4,97
	103	1,375	,847	,114	-,35	3,10
	113	-6,000(*)	,847	,000	-7,72	-4,28
	115	-11,000(*)	,847	,000	-12,72	-9,28
	116	-5,750(*)	,847	,000	-7,47	-4,03
	117	,875	,847	,309	-,85	2,60
	118	-12,000(*)	,847	,000	-13,72	-10,28
	120	-5,875(*)	,847	,000	-7,60	-4,15
	121	-2,125(*)	,847	,017	-3,85	-,40
	101	10,875(*)	,847	,000	9,15	12,60
	102	14,250(*)	,847	,000	12,53	15,97
	103	12,375(*)	,847	,000	10,65	14,10
	113	5,000(*)	,847	,000	3,28	6,72
114	114	11,000(*)	,847	,000	9,28	12,72
	116	5,250(*)	,847	,000	3,53	6,97
	117	11,875(*)	,847	,000	10,15	13,60
	118	-1,000	,847	,246	-2,72	,72
	120	5,125(*)	,847	,000	3,40	6,85
	121	8,875(*)	,847	,000	7,15	10,60
	101	5,625(*)	,847	,000	3,90	7,35
	102	9,000(*)	,847	,000	7,28	10,72
	103	7,125(*)	,847	,000	5,40	8,85
	113	-,250	,847	,770	-1,97	1,47
	114	5,750(*)	,847	,000	4,03	7,47
	115	-5,250(*)	,847	,000	-6,97	-3,53
	117	6,625(*)	,847	,000	4,90	8,35
	118	-6,250(*)	,847	,000	-7,97	-4,53
	120	-,125	,847	,884	-1,85	1,60
	121	3,625(*)	,847	,000	1,90	5,35
	101	-1,000	,847	,246	-2,72	,72
	102	2,375(*)	,847	,008	,65	4,10
	103	,500	,847	,559	-1,22	2,22

		113	-6,875(*)	,847	,000	-8,60	-5,15
		114	-,875	,847	,309	-2,60	,85
		115	-11,875(*)	,847	,000	-13,60	-10,15
		116	-6,625(*)	,847	,000	-8,35	-4,90
		118	-12,875(*)	,847	,000	-14,60	-11,15
		120	-6,750(*)	,847	,000	-8,47	-5,03
		121	-3,000(*)	,847	,001	-4,72	-1,28
	118	101	11,875(*)	,847	,000	10,15	13,60
		102	15,250(*)	,847	,000	13,53	16,97
		103	13,375(*)	,847	,000	11,65	15,10
		113	6,000(*)	,847	,000	4,28	7,72
		114	12,000(*)	,847	,000	10,28	13,72
		115	1,000	,847	,246	-,72	2,72
		116	6,250(*)	,847	,000	4,53	7,97
		117	12,875(*)	,847	,000	11,15	14,60
		120	6,125(*)	,847	,000	4,40	7,85
		121	9,875(*)	,847	,000	8,15	11,60
	120	101	5,750(*)	,847	,000	4,03	7,47
		102	9,125(*)	,847	,000	7,40	10,85
		103	7,250(*)	,847	,000	5,53	8,97
		113	-,125	,847	,884	-1,85	1,60
		114	5,875(*)	,847	,000	4,15	7,60
		115	-5,125(*)	,847	,000	-6,85	-3,40
		116	,125	,847	,884	-1,60	1,85
		117	6,750(*)	,847	,000	5,03	8,47
		118	-6,125(*)	,847	,000	-7,85	-4,40
		121	3,750(*)	,847	,000	2,03	5,47
	121	101	2,000(*)	,847	,024	,28	3,72
		102	5,375(*)	,847	,000	3,65	7,10
		103	3,500(*)	,847	,000	1,78	5,22
		113	-3,875(*)	,847	,000	-5,60	-2,15
		114	2,125(*)	,847	,017	,40	3,85
		115	-8,875(*)	,847	,000	-10,60	-7,15
		116	-3,625(*)	,847	,000	-5,35	-1,90
		117	3,000(*)	,847	,001	1,28	4,72
		118	-9,875(*)	,847	,000	-11,60	-8,15
		120	-3,750(*)	,847	,000	-5,47	-2,03
T 21	101	102	-4,667(*)	2,282	,049	-9,31	-,02
		103	-1,292	2,282	,575	-5,93	3,35
		113	-3,042	2,282	,192	-7,68	1,60
		114	-2,417	2,282	,297	-7,06	2,23
		115	-2,167	2,282	,349	-6,81	2,48
		116	-,792	2,282	,731	-5,43	3,85
		117	,708	2,282	,758	-3,93	5,35
		118	-3,417	2,282	,144	-8,06	1,23
		120	-2,333	2,282	,314	-6,98	2,31
		121	-3,667	2,282	,118	-8,31	,98
	102	101	4,667(*)	2,282	,049	,02	9,31
		103	3,375	2,282	,149	-1,27	8,02
		113	1,625	2,282	,481	-3,02	6,27
		114	2,250	2,282	,331	-2,39	6,89
		115	2,500	2,282	,281	-2,14	7,14
		116	3,875	2,282	,099	-,77	8,52
		117	5,375(*)	2,282	,025	,73	10,02
		118	1,250	2,282	,587	-3,39	5,89
		120	2,333	2,282	,314	-2,31	6,98
		121	1,000	2,282	,664	-3,64	5,64
	103	101	1,292	2,282	,575	-3,35	5,93
		102	-3,375	2,282	,149	-8,02	1,27

113	113	-1,750	2,282	,449	-6,39	2,89
	114	-1,125	2,282	,625	-5,77	3,52
	115	-,875	2,282	,704	-5,52	3,77
	116	,500	2,282	,828	-4,14	5,14
	117	2,000	2,282	,387	-2,64	6,64
	118	-2,125	2,282	,358	-6,77	2,52
	120	-1,042	2,282	,651	-5,68	3,60
	121	-2,375	2,282	,305	-7,02	2,27
	101	3,042	2,282	,192	-1,60	7,68
	102	-1,625	2,282	,481	-6,27	3,02
	103	1,750	2,282	,449	-2,89	6,39
	114	,625	2,282	,786	-4,02	5,27
	115	,875	2,282	,704	-3,77	5,52
	116	2,250	2,282	,331	-2,39	6,89
	117	3,750	2,282	,110	-,89	8,39
	118	-,375	2,282	,870	-5,02	4,27
	120	,708	2,282	,758	-3,93	5,35
	121	-,625	2,282	,786	-5,27	4,02
	101	2,417	2,282	,297	-2,23	7,06
	102	-2,250	2,282	,331	-6,89	2,39
	103	1,125	2,282	,625	-3,52	5,77
	113	-,625	2,282	,786	-5,27	4,02
	115	,250	2,282	,913	-4,39	4,89
	116	1,625	2,282	,481	-3,02	6,27
	117	3,125	2,282	,180	-1,52	7,77
114	118	-1,000	2,282	,664	-5,64	3,64
	120	,083	2,282	,971	-4,56	4,73
	121	-1,250	2,282	,587	-5,89	3,39
	101	2,167	2,282	,349	-2,48	6,81
	102	-2,500	2,282	,281	-7,14	2,14
	103	,875	2,282	,704	-3,77	5,52
	113	-,875	2,282	,704	-5,52	3,77
	114	-,250	2,282	,913	-4,89	4,39
	116	1,375	2,282	,551	-3,27	6,02
	117	2,875	2,282	,216	-1,77	7,52
	118	-1,250	2,282	,587	-5,89	3,39
	120	-,167	2,282	,942	-4,81	4,48
115	121	-1,500	2,282	,515	-6,14	3,14
	101	,792	2,282	,731	-3,85	5,43
	102	-3,875	2,282	,099	-8,52	,77
	103	-,500	2,282	,828	-5,14	4,14
	113	-2,250	2,282	,331	-6,89	2,39
	114	-1,625	2,282	,481	-6,27	3,02
	115	-1,375	2,282	,551	-6,02	3,27
	117	1,500	2,282	,515	-3,14	6,14
	118	-2,625	2,282	,258	-7,27	2,02
	120	-1,542	2,282	,504	-6,18	3,10
	121	-2,875	2,282	,216	-7,52	1,77
	101	-,708	2,282	,758	-5,35	3,93
116	102	-5,375(*)	2,282	,025	-10,02	-,73
	103	-2,000	2,282	,387	-6,64	2,64
	113	-3,750	2,282	,110	-8,39	,89
	114	-3,125	2,282	,180	-7,77	1,52
	115	-2,875	2,282	,216	-7,52	1,77
	116	-1,500	2,282	,515	-6,14	3,14
	118	-4,125	2,282	,080	-8,77	,52
	120	-3,042	2,282	,192	-7,68	1,60
	121	-4,375	2,282	,064	-9,02	,27
	101	3,417	2,282	,144	-1,23	8,06
117	113	-1,750	2,282	,449	-6,39	2,89
	114	-1,125	2,282	,625	-5,77	3,52
	115	-,875	2,282	,704	-5,52	3,77
	116	,500	2,282	,828	-4,14	5,14
	117	2,000	2,282	,387	-2,64	6,64
	118	-2,125	2,282	,358	-6,77	2,52
	120	-1,042	2,282	,651	-5,68	3,60
	121	-2,375	2,282	,305	-7,02	2,27
	101	3,042	2,282	,192	-1,60	7,68
	102	-1,625	2,282	,481	-6,27	3,02
	103	1,750	2,282	,449	-2,89	6,39
	114	,625	2,282	,786	-4,02	5,27
118	115	,875	2,282	,704	-3,77	5,52
	116	2,250	2,282	,331	-2,39	6,89
	117	3,750	2,282	,110	-,89	8,39
	118	-,375	2,282	,870	-5,02	4,27
	120	,708	2,282	,758	-3,93	5,35
	121	-,625	2,282	,786	-5,27	4,02
	101	2,417	2,282	,297	-2,23	7,06
	102	-2,250	2,282	,331	-6,89	2,39
	103	1,125	2,282	,625	-3,52	5,77
	113	-,625	2,282	,786	-5,27	4,02
	115	,250	2,282	,913	-4,39	4,89
	116	1,625	2,282	,481	-3,02	6,27

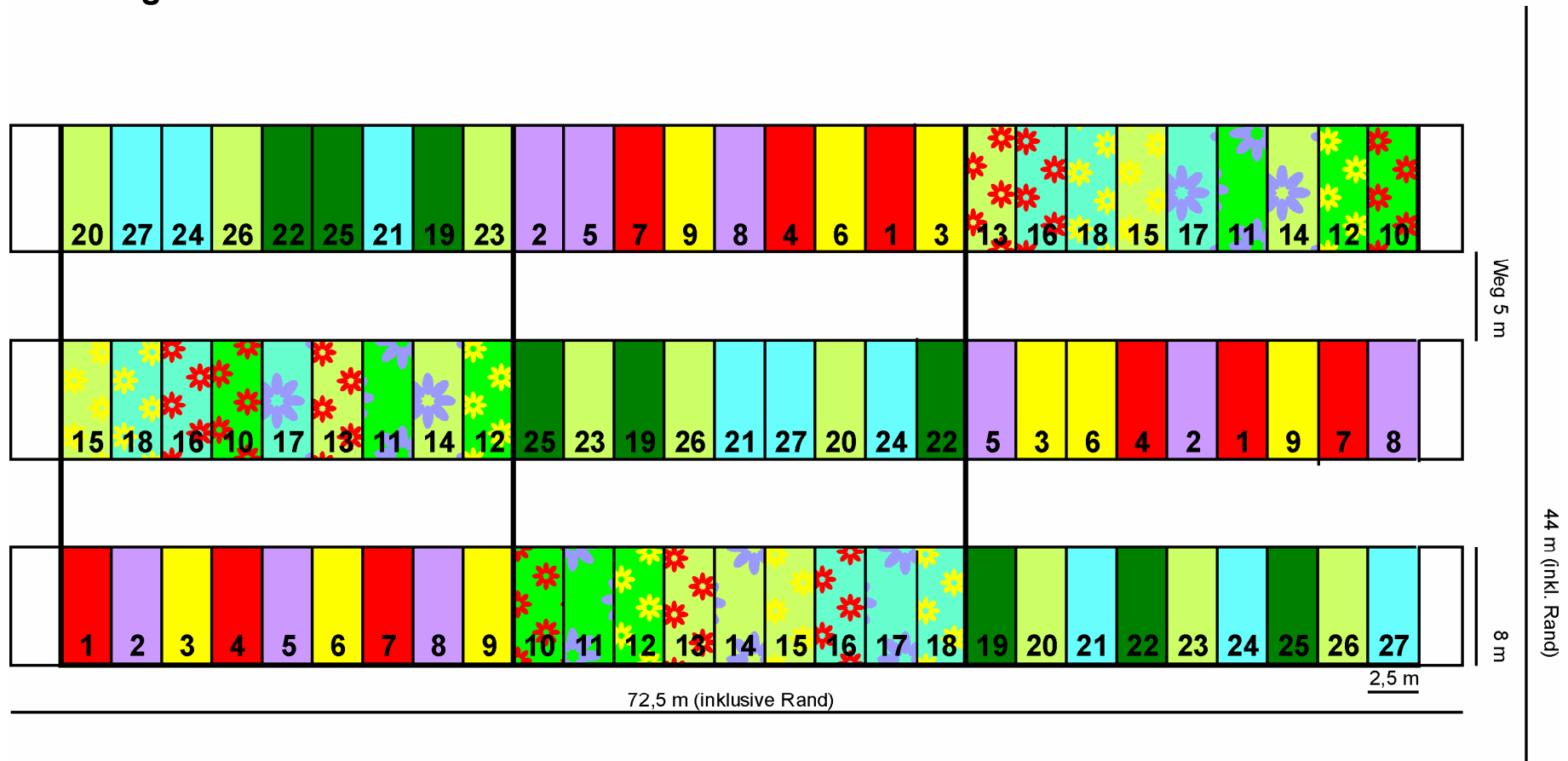
		102	-1,250	2,282	,587	-5,89	3,39
		103	2,125	2,282	,358	-2,52	6,77
		113	,375	2,282	,870	-4,27	5,02
		114	1,000	2,282	,664	-3,64	5,64
		115	1,250	2,282	,587	-3,39	5,89
		116	2,625	2,282	,258	-2,02	7,27
		117	4,125	2,282	,080	-,52	8,77
		120	1,083	2,282	,638	-3,56	5,73
		121	-,250	2,282	,913	-4,89	4,39
	120	101	2,333	2,282	,314	-2,31	6,98
		102	-2,333	2,282	,314	-6,98	2,31
		103	1,042	2,282	,651	-3,60	5,68
		113	-,708	2,282	,758	-5,35	3,93
		114	-,083	2,282	,971	-4,73	4,56
		115	,167	2,282	,942	-4,48	4,81
		116	1,542	2,282	,504	-3,10	6,18
		117	3,042	2,282	,192	-1,60	7,68
		118	-1,083	2,282	,638	-5,73	3,56
		121	-1,333	2,282	,563	-5,98	3,31
	121	101	3,667	2,282	,118	-,98	8,31
		102	-1,000	2,282	,664	-5,64	3,64
		103	2,375	2,282	,305	-2,27	7,02
		113	,625	2,282	,786	-4,02	5,27
		114	1,250	2,282	,587	-3,39	5,89
		115	1,500	2,282	,515	-3,14	6,14
		116	2,875	2,282	,216	-1,77	7,52
		117	4,375	2,282	,064	-,27	9,02
		118	,250	2,282	,913	-4,39	4,89
		120	1,333	2,282	,563	-3,31	5,98
	Summe	102	-4,792	7,307	,517	-19,66	10,08
		103	6,083	7,307	,411	-8,78	20,95
		113	-47,792(*)	7,307	,000	-62,66	-32,92
		114	-49,167(*)	7,307	,000	-64,03	-34,30
		115	-26,292(*)	7,307	,001	-41,16	-11,42
		116	-12,042	7,307	,109	-26,91	2,83
		117	-40,042(*)	7,307	,000	-54,91	-25,17
		118	-27,542(*)	7,307	,001	-42,41	-12,67
		120	-62,958(*)	7,307	,000	-77,83	-48,09
		121	-45,542(*)	7,307	,000	-60,41	-30,67
	102	101	4,792	7,307	,517	-10,08	19,66
		103	10,875	7,307	,146	-3,99	25,74
		113	-43,000(*)	7,307	,000	-57,87	-28,13
		114	-44,375(*)	7,307	,000	-59,24	-29,51
		115	-21,500(*)	7,307	,006	-36,37	-6,63
		116	-7,250	7,307	,328	-22,12	7,62
		117	-35,250(*)	7,307	,000	-50,12	-20,38
		118	-22,750(*)	7,307	,004	-37,62	-7,88
		120	-58,167(*)	7,307	,000	-73,03	-43,30
		121	-40,750(*)	7,307	,000	-55,62	-25,88
	103	101	-6,083	7,307	,411	-20,95	8,78
		102	-10,875	7,307	,146	-25,74	3,99
		113	-53,875(*)	7,307	,000	-68,74	-39,01
		114	-55,250(*)	7,307	,000	-70,12	-40,38
		115	-32,375(*)	7,307	,000	-47,24	-17,51
		116	-18,125(*)	7,307	,018	-32,99	-3,26
		117	-46,125(*)	7,307	,000	-60,99	-31,26
		118	-33,625(*)	7,307	,000	-48,49	-18,76
		120	-69,042(*)	7,307	,000	-83,91	-54,17
		121	-51,625(*)	7,307	,000	-66,49	-36,76

113	101	47,792(*)	7,307	,000	32,92	62,66
	102	43,000(*)	7,307	,000	28,13	57,87
	103	53,875(*)	7,307	,000	39,01	68,74
	114	-1,375	7,307	,852	-16,24	13,49
	115	21,500(*)	7,307	,006	6,63	36,37
	116	35,750(*)	7,307	,000	20,88	50,62
	117	7,750	7,307	,297	-7,12	22,62
	118	20,250(*)	7,307	,009	5,38	35,12
	120	-15,167(*)	7,307	,046	-30,03	-,30
	121	2,250	7,307	,760	-12,62	17,12
114	101	49,167(*)	7,307	,000	34,30	64,03
	102	44,375(*)	7,307	,000	29,51	59,24
	103	55,250(*)	7,307	,000	40,38	70,12
	113	1,375	7,307	,852	-13,49	16,24
	115	22,875(*)	7,307	,004	8,01	37,74
	116	37,125(*)	7,307	,000	22,26	51,99
	117	9,125	7,307	,221	-5,74	23,99
	118	21,625(*)	7,307	,006	6,76	36,49
	120	-13,792	7,307	,068	-28,66	1,08
	121	3,625	7,307	,623	-11,24	18,49
115	101	26,292(*)	7,307	,001	11,42	41,16
	102	21,500(*)	7,307	,006	6,63	36,37
	103	32,375(*)	7,307	,000	17,51	47,24
	113	-21,500(*)	7,307	,006	-36,37	-6,63
	114	-22,875(*)	7,307	,004	-37,74	-8,01
	116	14,250	7,307	,060	-,62	29,12
	117	-13,750	7,307	,069	-28,62	1,12
	118	-1,250	7,307	,865	-16,12	13,62
	120	-36,667(*)	7,307	,000	-51,53	-21,80
	121	-19,250(*)	7,307	,013	-34,12	-4,38
116	101	12,042	7,307	,109	-2,83	26,91
	102	7,250	7,307	,328	-7,62	22,12
	103	18,125(*)	7,307	,018	3,26	32,99
	113	-35,750(*)	7,307	,000	-50,62	-20,88
	114	-37,125(*)	7,307	,000	-51,99	-22,26
	115	-14,250	7,307	,060	-29,12	,62
	117	-28,000(*)	7,307	,001	-42,87	-13,13
	118	-15,500(*)	7,307	,042	-30,37	-,63
	120	-50,917(*)	7,307	,000	-65,78	-36,05
	121	-33,500(*)	7,307	,000	-48,37	-18,63
117	101	40,042(*)	7,307	,000	25,17	54,91
	102	35,250(*)	7,307	,000	20,38	50,12
	103	46,125(*)	7,307	,000	31,26	60,99
	113	-7,750	7,307	,297	-22,62	7,12
	114	-9,125	7,307	,221	-23,99	5,74
	115	13,750	7,307	,069	-1,12	28,62
	116	28,000(*)	7,307	,001	13,13	42,87
	118	12,500	7,307	,097	-2,37	27,37
	120	-22,917(*)	7,307	,004	-37,78	-8,05
	121	-5,500	7,307	,457	-20,37	9,37
118	101	27,542(*)	7,307	,001	12,67	42,41
	102	22,750(*)	7,307	,004	7,88	37,62
	103	33,625(*)	7,307	,000	18,76	48,49
	113	-20,250(*)	7,307	,009	-35,12	-5,38
	114	-21,625(*)	7,307	,006	-36,49	-6,76
	115	1,250	7,307	,865	-13,62	16,12
	116	15,500(*)	7,307	,042	,63	30,37
	117	-12,500	7,307	,097	-27,37	2,37
	120	-35,417(*)	7,307	,000	-50,28	-20,55

120	121	-18,000(*)	7,307	,019	-32,87	-3,13
	101	62,958(*)	7,307	,000	48,09	77,83
	102	58,167(*)	7,307	,000	43,30	73,03
	103	69,042(*)	7,307	,000	54,17	83,91
	113	15,167(*)	7,307	,046	,30	30,03
	114	13,792	7,307	,068	-1,08	28,66
	115	36,667(*)	7,307	,000	21,80	51,53
	116	50,917(*)	7,307	,000	36,05	65,78
	117	22,917(*)	7,307	,004	8,05	37,78
	118	35,417(*)	7,307	,000	20,55	50,28
	121	17,417(*)	7,307	,023	2,55	32,28
121	101	45,542(*)	7,307	,000	30,67	60,41
	102	40,750(*)	7,307	,000	25,88	55,62
	103	51,625(*)	7,307	,000	36,76	66,49
	113	-2,250	7,307	,760	-17,12	12,62
	114	-3,625	7,307	,623	-18,49	11,24
	115	19,250(*)	7,307	,013	4,38	34,12
	116	33,500(*)	7,307	,000	18,63	48,37
	117	5,500	7,307	,457	-9,37	20,37
	118	18,000(*)	7,307	,019	3,13	32,87
	120	-17,417(*)	7,307	,023	-32,28	-2,55

* Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau .05 signifikant.

Leguminosen/Gräserversuch



Anhangsabbildung 8.1: Parzellenanordnung des Leguminosen/Gräserversuches

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch in keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Wetzlar, den 24.08.2008

Danksagung

Mein Dank gilt in erster Linie Herrn Privatdozent Dr. Harald Laser, der mir das Thema zur Bearbeitung überlies und mich über den gesamten Zeitraum in netter Form fachlich betreute.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. W. Opitz von Boberfeld für die Übernahme der Zweitkorrektur und den Mitarbeitern der Professur für organischen Landbau, insbesondere Frau Maria Nägele und Herrn Walter Stinner, für die freundliche Unterstützung.

Weiterer Dank gilt:

- den Biogasanlagenbetreibern Thilo Wünschmann und Andreas Meuth für die kooperative Zusammenarbeit;
- meiner Oberschwester.